
**RUISTAIKINOIDEN VERTAILEVA TUTKIMUS
RAKENNEANALYSAATTORILLA JA
FARINOGRAFILLA**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Hämeenlinna, kevät 2016

Lotta Salonen



HÄMEENLINNA

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Elintarviketekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä	Lotta Salonen	Vuosi 2016
Työn nimi	Ruistaikinoiden vertaileva tutkimus rakenneanalyysointilla ja farinografilla	

TIIVISTELMÄ

Leivonnassa käytettävien raaka-aineiden laatu sekä niistä valmistetun taikinan rakenteelliset ominaisuudet kuvastavat saatavaa leivontatulosta. Raaka-aineiden ja taikinoiden ominaisuuksia tutkitaan, jotta leivontaprosessi saadaan toimimaan toivotulla tavalla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voiko Fazerin Lahden leipomolla ruistaikinoiden rakenteen analysointiin käytettävän farinografin korvata rakenneanalyysointilla. Työssä tutkittiin ruistaikinoiden rakennemittauksen toimivuutta ja luotettavuutta rakenneanalyysointille kehitetyllä menetelmällä. Tavoitteena oli myös löytää päivittäisessä laadunvalvonnassa käytettävät raja-arvot rakenneanalyysointin antamille mittaustuloksille.

Työn teoriaosuudessa käsitellään hapanleivontaprosessiin liittyviä laadunvalvontatoimenpiteitä ja keskitytään etenkin ruistaikinan rakenteellisten ominaisuuksien tarkasteluun. Teoreettisen osan tavoitteena on avata hapanleivontaprosessin laadunvalvonnan tärkeys ja sitä, millaisia erityispiirteitä liittyy ruistaikinan rakenteellisiin ominaisuuksiin. Teorian avulla pohjustetaan ruistaikinan asettamia vaatimuksia rakenteen mittausmenetelmille sekä käydään läpi erilaisia taikinan rakenteen ja reologian mittauslaitteita.

Tutkimus toteutettiin keväällä 2015 Lahden leipomon laadunvalvontalaboratoriossa. Ruistaikinoita analysoitiin rinnakkain farinografilla ja rakenneanalyysointilla. Saadut tulokset taulukoitiin ja analysoitiin tilastollisin menetelmin. Tilastollisten analyysien perusteella havaittiin, että taikinoiden analysoinnissa rakenneanalyysointilla esiintyy epävarmuutta. Tilastollisesti erittäin merkitsevää riippuvuutta farinografi- ja rakenneanalyysointiarvojen välille ei löytynyt, mutta sen varmentaminen mahdollistuisi laajemman tulosaineiston keräämisellä. Rakenneanalyysointin mittausmenetelmän epävarmuus ei kuitenkaan poistu. Mittausmenetelmän tarkastelua ja kehittämistä varmemmaksi tulisi jatkaa, jotta toistettavien tulosten saaminen mahdollistuisi.

Avainsanat ruis, taikina, laadunvalvonta, reologia, rakenneanalyysi

Sivut 51 s. + liitteet 9 s.

HÄMEENLINNA

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering

Food Technology

Author

Lotta Salonen

Year 2016

Subject of Bachelor's thesis

Comparative research of rye doughs with a texture analyzer and farinograph

ABSTRACT

In baking the quality of raw materials and textural properties of dough made from them reflect the characteristics of the baked product. The properties of raw materials and doughs are studied to make the baking process operate in the desired way.

The purpose of this Bachelor's thesis was to study whether the farinograph used to analyze the texture of rye dough could be replaced with a texture analyzer in Fazer Lahti Bakery. The aim was to study the functionality and reliability of the texture analysis of rye doughs with a measuring method developed for the texture analyzer. Another aim was to find limiting values used in daily quality control for the measurements obtained through the texture analyzer.

The theoretical part of the thesis discusses the quality control of the sour dough baking process focusing especially on the textural properties of rye doughs. The aim was to show the importance of quality control of the sour dough baking process and the special characteristics related to the textural properties of rye dough. The theory provides the basis for the requirements set on the texture measuring methods of rye doughs. Also, different dough texture and rheology measuring methods were dealt with.

The study was carried out in spring 2015 in the quality control laboratory of Lahti Bakery. Rye doughs were analyzed side by side with a farinograph and texture analyzer. The results of the measurements were analyzed with statistical calculations. On the basis of the results it was noticed that uncertainty occurs in the analysis with the texture analyzer method. No statistically significant dependency between the values of the texture analyzer and farinograph was found, but to verify this a greater number of test values should be collected. However, the uncertainty of the texture analyzer method is not eliminated. The texture analyzer method should be developed more reliable to enable the obtaining of reproducible results.

Keywords rye, dough, quality control, rheology, texture analysis

Pages 51 p. + appendices 9 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LAADUNHALLINTA HAPANLEIVONTAPROSESSISSA	2
2.1	Raaka-aineet	2
2.1.1	Ruisjauhot.....	2
2.1.2	Hiiva	4
2.1.3	Raski	5
2.2	Hapanleivontaprosessi.....	7
2.2.1	Taikinan teko	8
2.2.2	Taikinalepo	9
2.2.3	Ylöslyönti	9
2.2.4	Nostatus	9
2.2.5	Paisto	10
2.3	Ruisleivän laatu	10
3	RUISTAIKINAN RAKENNE	11
3.1	Rakenteelliset ominaisuudet.....	11
3.2	Taikinan reologia.....	13
4	TAIKINAN REOLOGIAN MITTAUSMENETELMIÄ	14
4.1	Empiiristen ja fundamentaalisten mittausmenetelmien erot	15
4.2	Empiiriset reologian mittauslaitteet	15
4.2.1	Farinografi	16
4.2.2	Miksografi	18
4.2.3	Ekstensografi	20
4.2.4	Alveografi.....	22
4.3	Rakenneanalysaattori	23
4.3.1	Kieffer dough and gluten extensibility rig.....	24
4.3.2	Dough preparation set.....	25
4.3.3	Chen-Hoseney dough stickiness rig	26
4.3.4	D/R dough inflation system.....	27
5	MATERIAALIT JA MENETELMÄT	29
5.1	Tutkimuksen tausta	29
5.2	Kehitetyn rakenneanalyysin kuvaus	30
5.3	Mittaukseen vaikuttavia tekijöitä	31
5.4	Koesuunnitelma.....	33
5.5	Rakennemittausten suoritus.....	34
5.5.1	Taikinanäytteet	34
5.5.2	Brabender farinografi	34
5.5.3	TA.XT Plus -rakenneanalysaattori	36
6	TULOKSET	37
6.1	Koetaikinat	38
6.2	Regressioanalyysi.....	39
6.3	Väliestimointi	42
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	45

Liite 1	Työohje kovuusmittauksiin rakenneanalysaattorilla
Liite 2	Kovuusmittausten tulostaulukko
Liite 3	Linja 4, taikina 1, tulostaulukko
Liite 4	Linja 7, taikina 1, tulostaulukko
Liite 5	Linja 6, taikina 2, tulostaulukko
Liite 6	Linja 9, taikina 3, tulostaulukko
Liite 7	Taikinoiden korrelaatiomatriisit
Liite 8	Taikinoiden väliestimaattitaulukot

1 JOHDANTO

Teollisen leivontaprosessin laadunvalvonta mahdollistaa prosessin odotustenmukaisen toiminnan sekä vaatimustenmukaiset eli laadukkaat leipomotuotteet. Ruisleipien hapanleivontaprosessin ominaispiirteitä ovat ruisjauhojen hyvä leipoutuvuus sekä laadukas raski eli taikinajuuri. Ruisleivonta eroaa vehnäleivonnasta, sillä ruistaikinalle ei muodostu yhtä hyvää vehnätaikinalle ominaista viskoelastista sitkoverkostoa. Kaikessa leivonnassa taikinan rakenne ja sen ominaisuudet takaavat onnistuneen leivontatuloksen. Kun taikina on sekoitettu, on sen leipoutumisominaisuuksiin enää vähäiset mahdollisuudet vaikuttaa (Häggman 2010, 124). Siksi taikinan rakenteen analysointi raaka-aineiden sekoituksen jälkeen ja leivontaprosessin kuluessa on erittäin tärkeää. Jos virheet leipomotuotteen ominaisuuksissa havaitaan vasta, kun ensimmäiset tuotteet ovat valmiita pakattaviksi, kestää laadun parantaminen tunteja. Tänä aikana virheellisiä ja huonolaatuisia tuotteita on ehditty valmistaa koko valmistuslinjaston matkalta, sillä teollisessa leipomossa valmistuslinjastot ovat jatkuvatoimisia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voiko ruistaikinan rakenteen analysoinnissa ottaa käyttöön rakenneanalyysointia. Työn toimeksiantajana toimi Fazerin Lahden leipomo, jossa taikinoiden rakennetta tutkitaan farinografilla. Farinografimittaus on aikaa vievä ja vaivalloinen suorittaa päivittäisessä laadunvalvonnassa. Rakenneanalyysointia käytetään ruisleipien rakenteen analysoinnissa toisella Fazerin leipomolla, mutta menetelmää ei voida ottaa sellaisenaan käyttöön Lahdessa. Lahteen on kehitetty oma ruistaikinoiden analysointimenetelmä rakenneanalyysointia varten ja menetelmän toimivuutta sekä luotettavuutta arvioitiin tekemällä mittauksia rinnakkain farinografilla ja rakenneanalyysointilla samasta taikinanäytteestä. Mittausten tuloksia analysoidaan ja mittausmenetelmän toimivuutta arvioidaan tämän opinnäytetyön kokeellisessa osiossa.

Teoriaosuudessa käsitellään kokeellisen osuuden taustaksi hapanleivontaprosessin laadunvalvonnan vaiheita ja niiden tärkeyttä. Huomiota kiinnitetään erityisesti ruistaikinan rakenteeseen, reologiaan ja taikinan rakenteen mittauslaitteisiin sekä niiden toimintaperiaatteisiin. Teoriaosuuden tarkoitus on avata hapanleivontaprosessin ja ruistaikinan erityispiirteet sekä antaa pohjatietoa rakenneanalyysointia varten kehitetyn mittausmenetelmän arvioimiseksi.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Fazer leipomot Oy. Fazer on Suomen johtava leipomoyritys ja sen leipomot Suomessa sijaitsevat Lappeenrannassa, Lahdessa, Oulussa ja Vantaalla (Fazer Group n.d.a). Fazerin Lahden toimipisteessä toimivat Lahden leipomo, Hapankorppuleipomo ja Fazer mylly. Leipomon tuotannosta 83 prosenttia on ruokaleipien valmistusta ja loput 17 prosenttia kahvileivän valmistusta (Päijät-Hämeen Viljaklusteri n.d.). Leipomon ruokaleivistä tunnetuimpia ovat Jälkiuuni-, Reissumies- ja Puikula-tuoteperheiden ruisleivät. Kahvileipäpuolella valmistetaan lettipitkot ja Pullava-tuoteperheen täytepitkot.

2 LAADUNHALLINTA HAPANLEIVONTAPROSESSISSA

Laatua eli tuotteille asetettuja vaatimuksia ja raja-arvoja on tärkeää seurata. Sitä mitä ei mitata, ei voida myöskään säätää ja ohjata. Laadunhallinta elintarvikkeiden valmistusprosessissa on ensisijaisen tärkeää, jotta valmistettaisiin turvallisia ja oikeanlaisia tuotteita. Laadunvalvonnalla varmistetaan, että tuote vastaa sitä, mitä myyntipakkauksessa luvataan eli kuluttajia ei johdeta harhaan. Elintarvikelaissa (23/2006 3: 19, 20 §) asetetaan vaatimuksia elintarvikkeiden valvonnalle. Laadunvalvonta, sen hallinta ja asianmukainen raportointi ovat osa elintarvikeyrityksen omavalvontaa. Yrityksen omat tavoitteet tuotteiden laadun suhteen voivat olla kuitenkin vielä korkeammat, kuin lainsäädäntö määrää. Tällöin tuotantoprosessia ja tuotteita tarkastellaan ja analysoidaan vielä tarkemmin, jotta tuotteiden ominaisuudet täyttävät yrityksen tärkeinä pitämät vaatimukset. Tuotteen laatuun negatiivisesti vaikuttavat tekijät pyritään selvittämään laadunvarmistustestein jo tuotantoprosessin kuluessa. Tällöin poikkeamiin pystytään vaikuttamaan ennakolta ja estämään sellaisten tuotteiden synty, jotka eivät vastaa vaatimuksia. Jos valmiin tuotteen laadullisissa ominaisuuksissa on kuitenkin puutteita, eikä valmistusprosessin kuluessa ole havaittu ongelmia, voidaan laatumuunnoksen aiheuttaja yrittää selvittää dokumentoitujen laadunvarmistustulosten avulla. Myös kuluttajapalautteisiin voidaan vastata todelliseen tietoon nojaten, kun tiedetään laatumuunnoksen aiheuttaja.

Tässä luvussa käsitellään hapanleivontaprosessissa suoritettavia laadunhallintatoimenpiteitä, mukaillen Lahden leipomolla suoritettavia käytänteitä.

2.1 Raaka-aineet

Ennen leivontaproessin alkua tulee varmistaa, että käytettävät raaka-aineet täyttävät asetetut vaatimukset onnistuneen leivontatuloksen saamiseksi. Raaka-aineitten laadun seuranta on erittäin tärkeää myös elintarviketurvallisuuden kannalta. Leipomolle saapuville raaka-aineille on leipomon toimesta asetettu laatukriteerit. Raaka-aineiden toimittajilla on vastuu siitä, että raaka-aineet ovat laatukriteerien mukaisia. Toimittajilla on velvollisuus toimittaa tiedot raaka-aineiden laadullisista ominaisuuksista.

2.1.1 Ruisjauhot

Myllyillä, jotka jauhavat viljat jauhoiksi, on omat laboratorionsa, joissa suoritetaan viljan vastaanottotarkastukset kuin myös tutkitaan myllyn jauhamien jauhojen ominaisuudet. Jauhojen laatu vaikuttaa leivän laatuun olennaisesti. Myllärielle on tärkeää saada mahdollisimman suuri jauhatustulos, mutta leipurille on tärkeämpää jauhojen hyvä leipoutuvuus, suuri vedensidontakyky sekä leivän suuri tilavuus (Salo, Kontturi, Talvitie & Kartio 1998, 9). Myllyrukiin tärkeimmät laatukriteerit ovat riittävän korkea hehtolitrapino ja sakoluku (Fazer Group n.d.b). Fazer myllyn asettamat laatuvaatimukset ovat nähtävissä taulukosta 1 (s. 3).

Taulukko 1. Fazer Myllyn laatuvaatimukset rukiille (Fazer Group n.d.c)

Laatuominaisuus	Ruis
Kosteus (%), max.	14,0
Hehtolitraino (kg), min.	71,0
Sakoluku, min.	62,0
Valkuainen (%), min.	-
DON (mg/kg), max.	1,25
Muut rikkajyvät (%), max.	7,00
Vieraat viljalajit (%), max.	4,00
Vihreät jyvät (%), max.	5,00
Roskat (%), max.	2,00
Torajyviä (%), max.	0,05
Rikkoutuneet (%), max.	5,00

Fazer myllylle saapuvan rukiin on oltava alkuperältään suomalaista, tuleentunutta ja tervettä. Värin, muun ulkonäön ja hajun tulee olla normaalit. Viljaan ei ole saanut käyttää glyfosaatti-valmistetta, eikä siitä saa löytyä peit-tausainetta, tuholaisia tai ulosteita. Torajyviä ei saa olla yli 0,05 prosenttia, eikä vilja saa olla peräisin tilalta, jolla on todettu salmonellaa. Viljan tulee täyttää elintarvikkeille asetetut kansallisen ja EU:n lainsäädännön vaatimukset. (Fazer Group n.d.c.)

Ruista käytetään leivonnassa pääasiassa täysjyväjauhona. Ruisjauho jauhe-taan tarkoin valikoidusta viljaseoksesta, jolla saavutetaan parhaimmat lei-poutumisominaisuudet. (Auvinen 1990, 32.) Ruisjauhojen leivontalaatua arvioidaan analysoimalla jauho-vesi-suspension viskoelastisia ominaisuuksia sakoluku-, amylogrammi- ja paisuntakäyrämittauksin. Sakoluku ja amy-logrammi mittauksin voidaan kuvata tärkkelyksen ominaisuuksia ja tärkke-lystä hydrolysoivan alfa-amylaasin aktiivisuutta. Paisuntakäyrämittauksella saadaan selville jauhojen sisältämien paisuntakykyisten ja viskositeettia muodostavien yhdisteiden määrä, joista tärkeimpiä ovat pentosaanit. Pai-suntakäyrällä kuvataan myös jauhojen hydrolyyttistä aktiivisuutta. (Sal-menkallio-Marttila & Hovinen 2004, 172.)

Sakoluku

Sakoluku tarkoittaa viljan itämisastetta. Mitä enemmän viljan jyvä on ehti-nyt itää, sitä enemmän jauhoitukseen on ehtinyt erittyä alfa-amylaasientsyy-miä. Paiston aikana alfa-amylaasi pilkkoo jauhon tärkkelystä sokereiksi ja samalla jauhoihin sitoutunut vesi vapautuu tärkkelyksen käyttöön. Jos tärk-kelys on pilkkoutunut liikaa sokereiksi, se ei kykene sitomaan riittävästi va-pautuvaa vettä eli liisteröitymään. (Salo ym. 1988, 10.)

Sakolukumenetelmässä jauhetusta viljasta ja vedestä valmistetaan velli la-siputkeen. Velliä vatkataan männällä 60 sekuntia kiehuvaan vesihauteeseen. (Salo 2007.) Jos entsyymiaktiivisuus on korkea, tärkkelys hajoaa nopeasti ja jauhovelli vetelöityy (Evira 2016). Vatkauksen jälkeen määntä vapaute-taan ja sen annetaan laskeutua velliin läpi lasiputken pohjalle. Sakoluku il-moitetaan sekunteina eli kuinka kauan mittauksen aloittamisesta kuluu ai-

kaa, kun mäntä on laskeutunut lasiputken pohjalle. Alin mahdollinen sakoluku on 60, kun mäntä putoaa heti alas. Kun sakoluku on korkea, mäntä laskeutuu hitaasti lasiputken pohjalle. (Salo 2007.)

Alhaisen sakoluvun viljalla on suuri alfa-amylaasiaktiivisuus. Tällöin valmistettu taikina on tahmeaa ja leivästä tulee tiivis, kostea sekä taikinamainen. Leivän sisus ei siis kypsy paiston aikana. (Salmenkallio-Marttila & Hovinen 2004, 165.) Korkean sakoluvun viljalla alfa-amylaasi aktiivisuus on alhainen. Tällöin taikinan leipoutuminen vaikeutuu, sillä taikina on jäykkää. Tästä johtuen leipä ei kohoa tarpeeksi ja siitä tulee tiivistä, kuivaa, helposti murenevaa sekä sen väri jää kalpeaksi. (Auvinen 1990, 32; Salmenkallio-Marttila & Hovinen 2004, 165.) Taulukossa 2 on lueteltu ruisjauhojen käyttökohteet sakoluvun mukaan. Huomioitavaa on se, että myllyille hyväksyttävän vehnän sakoluvun on oltava vähintään 180. Rukiilla sakoluku taas ohjaa jauhojen käyttötarkoituksen erilaisten ruispohjaisten tuotteiden raaka-aineiksi. (Evira 2016.)

Taulukko 2. Ruisjauhojen käyttökohteet sakoluvun mukaan (Leipätiedotus ry n.d.)

Käyttökohde	Sakoluku
Mämmiruisjauho	60–80
Raskijauho	65–90
Leivontajauho hapanleivontaan	80–110
Leivontajauho muuhun kuin hapanleivontaan	110–130
Näkkileipäjauho	>140
Erikoisnäkkileipäjauho	180

Amylogrammi

Ruisjauhojen amylaasientsyymien aktiivisuutta tutkitaan viskoamylografiilla. Viskomylografi mittaa hitaasti kuumennettavan ruisjauho-vesisuspension viskositeettia ja rekisteröi tärkkelyksen liisteröitymisen graafiseksi käyräksi eli amylogrammiksi. Amylogrammista on luettavissa myös lämpötila, jossa sakeutumisaste on parhaimmillaan. (Auvinen 1990, 32, 214.) Mittauksessa tulee tietää suspension kuiva-ainepitoisuus ja ohjelmoitu lämpötilan muuttuminen. Lopullinen amylogrammi saadaan neljän erilaisen ja perättäisen vaiheen jälkeen: lämpötilan nosto, kuumen lämpötilan ylläpito, lämpötilan laskeminen ja kylmän lämpötilan ylläpito. Jauho-vesisuspension viskositeetin muutokset tallentuvat amylogrammiin viskoamylografi yksiköinä. (Serna-Saldivar 2010, 486.)

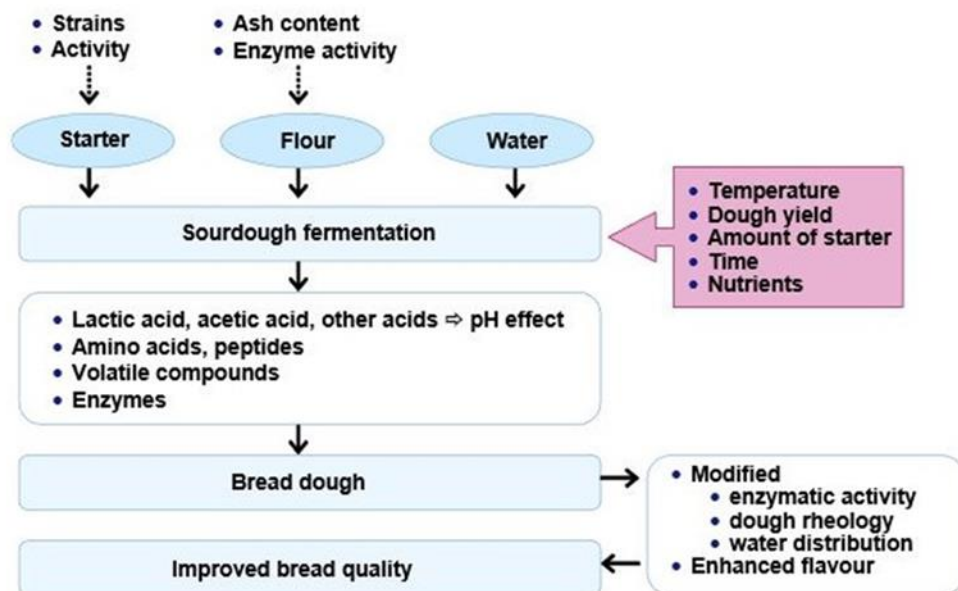
2.1.2 Hiiva

Teollisuusleipomoissa käytettävä hiiva on usein nestemäistä hiivaa eli hii-vakermaa. Hiivan laatua arvioidaan leipomolla mittaamalla sen nostatusvoimaa. Nostatusvoima voidaan mitata fermentografilla taikinan hiilidioksidin tuoton perusteella. Laborantti valmistaa pienen määrän taikinaa hii-vasta, jauhoista ja vedestä tarkoin raaka-aine määrin.

Vakiokokoista taikinapalaa nostatetaan fermentografin tiiviissä 35 -celsius-asteisessa kammiossa 60 minuutin ajan. Tänä aikana vapautuneen hiilidioksidikaasun määrä piiryy piirturiin ml/h. (Mekab Sales n.d.) Jos nousukoearvo jää toivottua raja-arvoa pienemmäksi, tuotannossa esiintyy nostatusvaikeuksia.

2.1.3 Raski

Raski eli taikinajuuri on hapanleivonnan tärkein tekijä ja se toimii varsinaisen taikinan raaka-aineena. Raskin käyttö on vanha menetelmä parantaa ruisleivän makua, rakennetta ja säilyvyyttä (Katina 2005, 15). Raski valmistetaan sekoittamalla ruisjauhoja ja vettä löysäksi taikinaksi. Raskiin lisätään 0,5–20 prosenttia edellisen päivän raskia tai erikseen valmistettua ja ylläpidettyä siemenraskia. Tämän tarkoituksena on välittää raskimikrobit uuteen raskiin. Mitä enemmän siemenraskia käytetään, sitä vakaampi laatu raskille saadaan. Mikrobit voidaan laittaa raskiin myös raskistartterilla, eli pakkaskuivattuja mikrobeja käyttämällä. Raskissa olevat maitohappobakteerit ovat usein *Lactobacillus sanfransicensis*, *Lactobacillus brevis* tai *Lactobacillus plantarum*. (Häggman 2010, 128.) Raskin sekaan voidaan laittaa myös muita ainesosia, esimerkiksi suolaa ja hiivaa (Auvinen 1990, 62–63). Hiivana käytetään useimmiten perinteistä leivinhiivaa *Saccharomyces cerevisiae* tai tälle läheistä sukua olevia *Kazachstania exigua* tai *Candida milleri* (Häggman 2010, 128). Raski alkaa käydä eli hapantua, jonka lopputulokseen vaikuttavat lämpötila, raskin kiinteys sekä raskin siemenen määrä ja laatu. (Auvinen 1990, 62–63). Kuviossa 1 on esitetty raskin valmistukseen vaikuttavat tekijät sekä raskin vaikutukset leivontaan.



Kuvio 1. Raskin käymisprosessiin vaikuttavat tekijät sekä raskin positiiviset vaikutukset leivontatulokseen (Katina 2005, 20).

Raskimikrobien tehtävänä on ruisjauhojen leivontaominaisuuksien parantaminen, taikinan nostatus, leivän maun muodostus sekä säilyvyyden parantaminen (Häggman 2010, 128). Raskin käymistapahtumassa pääosassa ovat

maitohappobakteerit ja raskihiivat, mutta myös entsyymeillä on tehtävänsä. Maitohappobakteerit jaetaan homo- ja heterofermentatiivisiin maitohappobakteereihin. Bakteerien käyttäessä glukoosia ravinnokseen, syntyy aineenvaihduntatuloksena erilaisia happoja. Homofermentatiiviset tuottavat vain maitohappoa, mutta heterofermentatiiviset myös etikkahappoa ja hiilidioksidia. Homofermentatiiviset bakteerit kykenevät myös hajottamaan pento- saaneja ja proteiineja, minkä tuloksena syntyy taikinalle ominainen rakenne. Tämä ja valkuaisen liukeneminen saavat aikaan hapanleivälle tarpeellisen sitkon omaisen rakenteen. Tällainen taikina pystyy paremmin pöydäilemään kaasuja, jolloin nousu ja leivän rakenne paranevat. (Auvinen 1990, 63.) Maitohappobakteerit tuottavat käymisprosessissa maitohappoa sekä mikrobikoostumuksesta riippuen etikkahappoa. Hapot vaikuttavat ruisleivän rakenteeseen ja makuun. Etikkahappo toimii luontaisena homeenestoaineena. Raskihiivojen tehtävänä on tuottaa hiilidioksidia, sekä muodostaa aromiaineita ja etanolia. (Häggman 2010, 128–129.) Raskihiivat pystyvät tuottamaan leivinhiivoja tehokkaammin hiilidioksidia, koska ne sopeutuvat paremmin taikinan happamuuteen ja kykenevät pilkkomaan sokereita monosakkarideiksi, joita maitohappobakteerit voivat käyttää (Auvinen 1990, 63). Käymisolosuhteiden vaihtelu aiheuttaa raskin mikrobiston laatuun ja määrään muutoksia. Näillä on vaikutuksensa leivontatulokseen ja tuotteen makuun. (Häggman 2010, 128–129.)

Raskin valmistuksesta on vastuussa prosessinohjaaja, joka automaatiojärjestelmän avulla hallitsee raskien valmistusta. Raskeja hapatetaan suurissa säiliöissä, joihin raaka-aineet annostellaan automaattisesti putkistoja pitkin. Raskin annetaan käydä 8–18 tuntia 26–32 °C:n lämpötilassa, jonka jälkeen se on valmista leivontaan (Häggman 2010, 128). Pitkä kokemus raskien valmistuksesta ja prosessin hallinnasta takaa pitkälle sen, että raskien laatu pysyy hyvänä. Prosessinohjaaja ei kuitenkaan saa automaatiojärjestelmästä kaikkea tarpeellista tietoa raskien laadusta. Siitä syystä laborantti suorittaa raskeista päivittäin laatuanalyysyjä.

Raskin pH, happoluku sekä kosteusprosentti määritetään päivittäin. Määritykset tehdään noin tuntia ennen kuin raski olisi valmista leivontaan. Häggmanin mukaan (2010, 128) käytetty raskitusprosessi ja ruisjauhon laatu määrittävät kypsän raskin mikrobiflooran kehityksen ja siten raskin lopullisen happamuustason. Raskikäymisen alkaessa raskin pH on noin 6. Kun maitohappobakteerit tuottavat käymisen aikana happoja, laskee raskin pH 3,5–3,9:ään. Happoluku kuvaa muodostuneiden happojen kokonaismäärää. Alussa happoluku on noin 3, mutta käymisen aikana se nousee 10–21:een. Happoluvun kasvu voi jatkua, vaikka pH on tasoittunut. Taikinatulosta, eli jauhon ja veden suhdetta, säätämällä vaikutetaan raskin happamuuteen. Kun taikinatulosta nostetaan, raski löysenee ja raskin happamuus nousee. Lisäksi taikinan valmistuksessa raski toimii osittain tai kokonaan taikinanesteenä, joten kosteusprosentin seuranta on tärkeää.

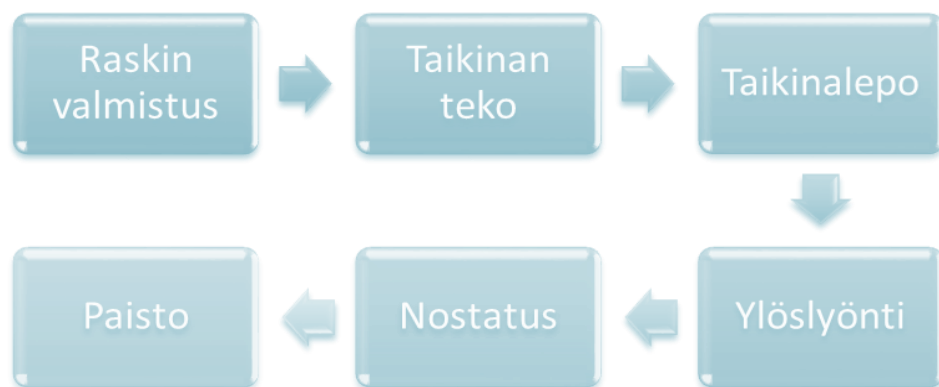
Kerran viikossa raskeista määritetään myös haihtuvien happojen määrä eli etikkahappopitoisuus. Etikkahappopitoisuus korreloi suoraan tarvittavan hiivan määrään leivontaprosessissa. Korkea etikkahappopitoisuus hidastaa leivän nousemista, sillä etikkahappo hidastaa hiivan käymistoimintaa. Jos

etikkahappoa on liikaa, tulee leivän mausta pistävä ja hiivaa joudutaan lisäämään taikinaan suuria määriä. (Häggman 2010, 128–129.)

Jos jokin määritettävistä arvoista ei ole raja-arvojen puitteissa, suoritetaan tarkistusanalyysit, selvitetään, mistä mahdollinen arvон heilahtaminen johtuu ja tehdään korjaavat toimenpiteet arvon saattamiseksi takaisin raja-arvoihin. Korjaavia toimenpiteitä ovat esimerkiksi raskin käymisolosuhteiden säätäminen, käytettävän pohjaraskin ikä ja laatu sekä raaka-aineiden laatu.

2.2 Hapanleivontaprosessi

Hapanleivontaprosessi noudattaa lähes samaa kaavaa, kuin mikä tahansa suoraleivontaprosessi (Häggman 2010, 124). Kuviossa 2 on esitetty hapanleivontaprosessin vaiheet. Ensin valmistetaan raski, josta on vastuussa prosessinohjaaja. Riippuen leipälaadusta, esimerkiksi palaleipä tai vuokaleipä, valmistusprosessin vaiheet ja valmistus linjastot eroavat hieman. Taikinan teko voi tapahtua padoissa tai ruuvisekoittimissa, jolloin taikinalepo taas tapahtuu padoissa tai lepohihnoilla. Niin taikinan teosta kuin taikinalevosta ja niiden laadunvalvonnasta vastaavat taikinan tekijät. Ylöslyönnin, nostuksen ja paiston onnistumisesta ja valvonnasta vastaavat paistajat. Jotta leivontaprosessi olisi onnistunut ja valmistettava leipä laadukasta, tulee prosessissa havaittuihin ongelmiin puuttua välittömästi ja välittää tietoa henkilöille, jotka voivat ongelmaan vaikuttaa. Jatkuvatoimisessa hapanleivontaprosessissa suurimmat ongelmat havaitaan monesti vasta paiston aikana tai kunnes leipä on valmis pussitettavaksi. Ongelman korjaamiseen kuluu useita tunteja, sillä leivontaprosessi on pitkä ja viallista leipää on ehditty valmistaa siihen saakka, kun ensimmäiset leivät saapuvat jäähdytykseen. Siksi leivontaprosessin onnistumisen tarkkailu ja arviointi ovat erittäin tärkeitä, jotta ongelmiin päästään puuttumaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.



Kuvio 2. Hapanleivonnan vaiheet.

2.2.1 Taikinan teko

Taikinan valmistaminen ja käytettävät raaka-aineet määrittävät lopputuotteen laadun sekä luovat perustan onnistuneelle leipomotuotteelle. Valmiin tuotteen ominaisuudet riippuvat olennaisesti taikinan ominaisuuksista. Taikinan valmistamisen aikana tapahtuneet virheet ovat vaikeita korjata myöhemmissä leivontaprosessin vaiheissa. (Häggman 2010, 124.)

Ruistaikinalle ei synny vehnätaikinan tapaan sitkoa, sillä rukiissa ei ole gluteeniiproteiineja, jotka vaaditaan sitkoverkoston muodostumiseksi. Ruikiin leipoutumisominaisuudet perustuvat pentosaanien turpoamisominaisuuksiin sekä tärkkelyksen liisteröitymiseen. Etenkin happamassa pH:ssa pentosaanit kykenevät sitomaan vettä ja nostamaan taikinan viskositeettia. (Beck, Jekle, Selmaier, Koehler & Becker 2011.) Koska sitkoa ei synny, ruistaikinoita ei vaivata, vaan raaka-aineet vain sekoitetaan huolellisesti taikaiseksi massaksi. Huolellisessa sekoituksessa raaka-aineet sekoittuvat ja jauhopartikkelit vettyvät, sekä ruisjauhojen tärkkelys ja pentosaanit sekoittuvat hyvin turpoavaksi, sitkeäksi taikinaksi. (Auvinen 1990, 82.) Sekoituksessa taikinaan sitoutuu pieniä ilmakuplia, jotka toimivat alkioina hiivan tuottamalle hiilidioksidikaasulle. Onnistuneessa taikinassa on huokoinen rakenne, riittävästi nostatusvoimaa ja hyvä kaasunpidätyskyky. Jokainen taikinan käsittelyvaihe vaikuttaa sen leipoutumisominaisuuksiin ja lopputuotteeseen. (Häggman 2010, 124–125.)

Taikinanesteen lämpötilan valvonta on yksi tärkeimmistä vaiheista leivontaprosessin onnistumisen kannalta. Sen seurannasta pitävät huolen leipurit. Taikinan lämpötilaa säädellään mukauttamalla taikinanesteen lämpötila käytettävien jauhojen ja juuritaikinan lämpötilaan. Huomioon tulee ottaa myös taikinan lämmön nousu taikinan sekoituksen aikana sekä leipomohuoneiston lämpötila. Taikinan lämpötila vaikuttaa hiivan nostatusnopeuteen, taikinan kehittymiseen, nostatusaikaan sekä taikinan käsittelyominaisuuksiin. Liian kylmä taikina nousee hitaasti ja tuotteista voi tulla pieniä sekä tiivishuokoisia. Lämmin taikina taas nousee liian nopeasti, mikä aiheuttaa taikinan pinnan kuivumista ja kuorettumista. Leivonnaisista tulee matalia sekä huokosrakenteeltaan karkeita ja paksuseinäisiä. (Häggman 2010, 124–125.)

Taikinan valmistuksessa laadunhallinta on erityisen tärkeää. Taikinan teon jälkeen leivontatulokseen on enää vähäiset mahdollisuudet vaikuttaa. Siksi on tärkeää, että taikinan laatua seurataan, jotta mahdollisiin virheannosteluihin tai prosessihäiriöihin pystytään puuttumaan välittömästi, kun ongelma on havaittu. Ensisijaisesti taikinantekijä huolehtii taikinan laadunvalvonnasta aistein sekä seuraamalla prosessiparametreja tietokoneelta. Prosessinohjaaja seuraa myös prosessiparametreja valvomosta. Laborantin tehtävänä on suorittaa kaikista taikinoista vähintään kerran viikossa kosteus-%, pH ja happolukuanalyysit sekä kovuusmittaus farinografilla. Yleisimmistä tuotteista analyysit tehdään päivittäin.

2.2.2 Taikinallepo

Leipien tilavuus, rakenne, aromit ja ulkonäkö riippuvat suuresti eri nostatusvaiheiden onnistumisesta. Ruistaikin sekoitusta seuraava taikinallepo mahdollistaa taikin selviytymisen rajusti taikinaa muokkaavista ylöslyönnistä sekä tuotenostatuksen ja paiston rasituksista. Levossa myös hiiva lisääntyy ja käymisaromit vahvistuvat. (Auvinen 1990, 84–85.) Taikinallevossa sekoituksessa alkanut taikinanesteen sitoutuminen jauhopartikkeleihin jatkuu, jolloin taikina kiinteytyy ja sen käsiteltävyys paranee. Levon jälkeen ylöslyöntiin tarvitaan pienempi voima ja siten taikinarakenne säilyy ehjänä muokkausvaiheiden läpi. Levossa hiivan tuottama hiilidioksidi kylästä taikin vesifaasin, jolloin sekoituksen aikana muodostuneisiin ilmarakkuloihin alkaa kerääntyä hiilidioksidia ja taikina alkaa nousta. Taikinallevon pituus on noin 10–20 minuuttia. (Häggman 2010, 124–125.)

2.2.3 Ylöslyönti

Ylöslyönti on yhteisnimitys usealle eri työvaiheelle, joissa levännyt taikina muokataan halutun laiseksi leiviksi (Häggman 2010, 125). Ylöslyönti on taikin uudelleensekoittamista, jolloin taikina tasoittuu ja kaasurakkulat muuttuvat yhä hienojakoisemmiksi sekä lisääntyvät nostatusta varten (Auvinen 1990, 85). Ylöslyöntiin kuuluvan riivauksen aikana taikinasta poistetaan isoja taikinakuplia. Jo muodostuneet kaasukuplat rikkoutuvat ja jakautuvat pienemmiksi kupliksi. Taikin rakenne tasoittuu ja ravinteita siirtyy hiivasolujen luokse. (Häggman 2010, 125.)

Lahden leipomolla vuokaleipien ja limppujen taikin ylöslyöntiin kuuluu riivaus, mutta palaleipien taikina kaulitaan taikinallevyksi ja stanssataan muoteilla halutun muotoisiksi palaleiviksi. Ennen riivausta tai kaulintaa levännyt taikina sekoitetaan. Tässä vaiheessa palaleivistä stanssauksesta ylijääneet kantit sekoitetaan takaisin taikin joukkoon. Prosessi on automaattinen sekä jatkuvatoiminen.

Paistaja valvoo leivontaprosessin kulkua ja onnistumista ylöslyönnistä alkaen. Paistaja arvioi, leipoutuuko taikinasta hyviä leipiä ja onko taikin koostumus sellainen, että se kestää leivontaprosessin läpi. Kanttien sekoittaminen levänneen taikin joukkoon tekee taikinasta kovempaa. Jos paistaja huomaa ongelmia taikin leipoutuvuudessa tai konekestävyydessä, hän ilmoittaa asiasta taikinantekijälle. Taikinantekijä tekee tarpeen vaatiessa muutoksia leivontareseptiin.

2.2.4 Nostatus

Ylöslyönnistä leivät kulkevat linjastolla nostatuskaappeihin. Nostatuksessa leipien tilavuus kasvaa, sillä hiivan tuottama hiilidioksidi sitoutuu taikinarakenteeseen. Leivän sisällä olevissa vesi-rasvarakkuloissa hiilidioksidi lisääntyy yhä. (Auvinen 1990, 85–86.) Nostatuksen onnistuminen riippuu hiivan tuottamasta hiilidioksidin määrästä, taikinarakenteen kaasunpidätuskyvystä ja elastisuudesta, nostatusajasta, -lämpötilasta sekä nostatuskaapin

suhteellisesta kosteudesta. Hapanleivonnassa raski tuo mukanaan oman vaikutuksensa nostatukseen, sillä korkea etikkahappopitoisuus hidastaa leivän nousemista hidastamalla hiivan käymistoimintaa ja täten hiilidioksidin määrä jää pieneksi. Mikäli tiedetään, että raskin etikkahappopitoisuus on korkea, voidaan hiivan määrää taikinassa lisätä. Nostatusta pystytään säädellä nostatuskaapin lämpötilaa ja kosteutta säätämällä, sillä hiivan kaasuntuottonopeus kasvaa taikinalämpötilan noustessa. (Häggman 2010, 126 ja 129.)

Nostatusvoiman eli hiilidioksidin määrän ja kaasunpidätyskyvyn erottaminen nostatusvaiheessa on haastavaa. Taikinaan voi muodostua riittävästi kaasua, mutta jos kaasu ei sitoudu taikinarakenteeseen, ei leivät nouse. Kaasunpidätyskykyyn voidaan vaikuttaa säätämällä leivontareseptiä. Tällöin voidaan säätää taikinan vesimäärää ja valmistaa kovempi taikina. Veden lisäyksen yhteydessä selviää myös käytettävien jauhojen laatuominaisuudet. Lisättävän veden lämpötilalla on myös oma vaikutuksensa, sillä kaasunpidätyskykyä voidaan parantaa valmistamalla viileämpi taikina. (Häggman 2010, 126.)

2.2.5 Paisto

Paisto on leivontaprosessin vaiheista viimeinen ja siinä leivän rakenne saa lopullisen muotonsa. Paiston aikana taikinan sisältämät proteiinit denaturoituvat eli jähmettyvät. Tärkkelys turpoaa ja liisteröityy sitoessaan pentosaanien luovuttaman veden, jolloin ruisleipä saa ominaisen rakenteensa. Ruistaikinalle riittävä happamuus on tärkeää, jotta entsyymien toiminta hidastuu ja paiston aikainen tärkkelyksen pilkkoutuminen estyy. Jos tärkkelystä pääsee pilkkoutumaan liikaa, leivän rakenne romahtaa paiston aikana. Leivän lopullinen maku ja ulkonäkö kehittyvät, kun taikinan sokerit ja aminohapot reagoidessaan keskenään synnyttävät väri- ja aromiaineita. Tavanomaisesti ruisleivillä on melko pitkä paistoaika, jotta toivottu aromi kehittyy. (Häggman 2010, 126–128.)

Paistajalla on mahdollisuus vaikuttaa leivän kypsymiseen ja ulkonäköön höyrytystä ja uunin lämpötilaa säätämällä. Höyrytyksellä paiston alussa vaikutetaan lämmönsiirtoon taikinan sisukseen ja täten leivän tasaiseen kypsymiseen. Hyvin nousseessa taikinassa lämmönsiirto on nopeampaa. Höyrytys antaa leivälle myös venyvämmän pinnan, jolla on vaikutuksensa uuninousun onnistumiseen. Uuninousun vuoksi taikinan laajenemiskyvyn tulee olla riittävä, jotta leipä ei lässähdä paiston aikana. (Häggman 2010, 126.) Uuninousu voi myös aiheuttaa leipien kohokuorisuutta. Tällöin leivän sisällä muodostuvat kaasut aiheuttavat kuoren irtoamisen sisuksesta ja leivän sisälle muodostuu ilmakupla. (Suutarinen, sähköpostiviesti 23.12.2015.)

2.3 Ruisleivän laatu

Paiston jälkeen valmiit leivät vielä jäähdytetään spiraaleissa, halkaistaan tai viipaloidaan ja pussitetaan. Pakkaamohenkilökunnan tehtävänä on aistein

arvioida leipien ulkonäköä ja makua ennen pakkaamista. Jos tuotteessa havaitaan puutteita, tulee niistä informoida välittömästi prosessinohjaajaa, taikinantekijöitä ja paistajia.

Laadunvalvontalaboratorion henkilökunta suorittaa valmiista ruisleivistä laadunvalvonta-analyysijä. Tuotteissa kiinnitetään huomio säilyvyyteen, massaan, tuotteen kokoon, kosteuteen, pH- ja happolukuun, suolapitoisuuteen ja makuun. Kaikista leipomossa valmistettavista tuotteista suoritetaan analyysit kerran kuukaudessa. Jos tuloksissa on huomautettavaa, suoritetaan tarkistusanalyysit. Mikäli raja-arvoista poikkeava tulos toistuu tarkistusanalyysissä, välitetään tieto valmistusosastolle. Valmistusosastolla prosessinohjaajat ja leipurit pohtivat yhdessä, mistä raja-arvoista poikkeava tulos johtuu. Tämän jälkeen ruisleipien valmistusprosessiin tehdään tarvittaessa muutoksia virheellisten arvojen korjaamiseksi. Tarkistusanalyysijä tehdään niin monta kertaa, että leivän laatuarvot ovat hyväksytyssä arvoissa.

3 RUISTAIKINAN RAKENNE

Ruuan tärkeimmät laatuksiteerit ovat ulkonäkö, maku, rakenne ja ravitsevuus (Bourne 2002, 1). Taikinan rakenne vaikuttaa erittäin merkittävästi valmiin leivän ulkonäköön ja aistittavaan rakenteeseen. Ruuan rakenteesta puhuttaessa tarkoitetaan muun muassa haurautta kovuutta, elastisuutta, tarttuvuutta, venyvyyttä ja pureskeltavuutta (Winopal, Drobny & Schneider-Häder 2015, 4). Siispä taikinoiden analysointi leivontavaiheessa on tärkeää, jotta lopputuotteesta tulee ominaisuuksiltaan halutun laista. Leivontaprosessin aikaisista analyyseistä voidaan päätellä, minkälainen lopputuote tulee todennäköisesti olemaan. Jos jotkut laadunvarmistusparametrit havaitaan olevan leivontavaiheessa virhearvoissa, niihin voidaan vielä vaikuttaa tai virheitä voidaan yrittää korjata. (Näveri, haastattelu 2.3.2015.)

3.1 Rakenteelliset ominaisuudet

Rukiin leivontaominaisuudet sekä leivän rakenteelliset ominaisuudet määräytyvä soluseinän ei-tärkkelyspohjaisten polysakkaridien (Girhammar & Baboo 1995) eli pentosaanien vedensitomiskyvyn ja tärkkelyksen liisteröitymisominaisuuksien perusteella (Leipätiedotus ry n.d.). Muodostunut taikinarakenne on sitkeää ja omaa jonkinlaisen kaasunpidätyskyvyn (Häggman 2010, 128).

Rukiin ravintokuitu koostuu pääasiassa soluseinän polysakkarideista eli hiilihydraateista, joista osa on vesiliukoisia (Salmenkallio-Marttila & Hovinen 2004, 165). Viljojen liukoinen kuitu muodostuu pääasiassa hemisellulosaasta, arabinoksyalaaneista ja beetaglukaanista (Serna-Saldivar 2010, 90; Salmenkallio-Marttila & Hovinen 2004, 165). Taulukossa 3 (s. 12) on nähtävissä rukiin ja vehnän jyvien ravintoainesisällöt. Arabinoksyalaanit voivat olla liukoisia tai liukenemattomia (Leipätiedotus ry n.d.). Liukoiset arabinoksyalaanit ovat heteropolysakkarideja, jotka muodostuvat ksyloosin ja arabinoosin polymeereistä (Girhammar & Baboo 1995; Serna-Saldivar

2010, 90). Koska ksyloosi ja arabinoosi ovat pentoosisokereita, arabinoksyylaaneja kutsutaan tavallisimmin pentosaaneiksi (Serna-Saldivar 2010, 90).

Taulukko 3. Rukiin ja vehnän ravintoainesisällöt eriteltyinä jyvässä ja leseissä eli viljojen kuoriosissa. Arabinoksyylaanien määrät on pyörytetty. (Kuva: Santala 2011.) Huomioitavaa on, että yleensä ruis jauhetaan täysjyväjauhoksi, jossa on sekä jyvää että leseet mukana, kun taas yleisimmin käytetyt vehnäjauhot jauhetaan pelkästään vehnän jyväsasta.

(g/100 g dm)	Rye grain	Rye bran	Wheat grain	Wheat bran
Dietary fibre	15-23	37-48	10-13	39-53
AX	8-12.1	19-25	6	19-30
Fructan	2.5	6.6-7.2	0.5-1.5	2.8-3.7
β -glucan	1.5-1.8	3.5-5.3	0.6-1	1.2-2.6
Cellulose	1.3	5-6.5	2	9.3-12.1
Klason lignin	1.5-2.4	3.5-4.5		3-4.9
Protein	8-13	14-18	12-14	14-17
Fat	2-3	3.9-4.6	3	5.6-6
Starch	55-65	13-28	67-70	8.8-29
Ash	1.8-2.2	2.8-6.5	2	4-6.6

Pentosaaneilla on hyvä vedensidonta, geelinmuodostus ja viskositeetin nostokyky ja siksi pentosaanit vaikuttavat olennaisesti ruisjauhojen käyttäytymiseen leivontaprosessissa sekä leivän rakenteellisiin ominaisuuksiin (Santala 2011; Girhammar & Baboo 1995). Etenkin alahaisessa pH:ssa pentosaanit kykenevät sitomaan vettä ja nostamaan taikinan viskositeettia. Näin ollen ne parantavat ruistaikinan virtausominaisuuksia ja sen muotoa nostuksen sekä leivonnan aikana. (Beck ym. 2011.)

Ruistaikina esiliisteröityy vähäisesti jo taikinan sekoitusvaiheessa, kun pentosaanit muodostavat limamaisia aineita vettä sitoessaan. Pääasiallinen liisteröityminen tapahtuu kuitenkin vasta paiston aikana, kun pentosaanit luovuttavat sitomansa veden tärkkelykselle. (Auvinen 1990, 32.) Tärkkelyksen liisteröityminen tapahtuu samassa lämpötilassa, missä alfa-amylaasi saavuttaa suurimman aktiivisuutensa (Edwards 2007, 186). Kuten jo aiemmin sakoluvusta kertovassa luvussa kerrottiin, liiallinen alfa-amylaasin aktiivisuus aiheuttaa tärkkelyksen liiallista pilkkoutumista sokereiksi, jolloin tärkkelys ei kykene sitomaan riittävästi vettä. Siksi myös tärkkelystä hajottavien alfa-amylaasi entsyymien aktiivisuudella on suuri merkitys ruistaikinan rakenteelle (Salmenkallio-Marttila & Hovinen 2004, 165).

Ruisleivonnassa proteiinien määrä sekä laatu eivät ole niin merkittäviä, kuin vehnäleivonnassa (Salmenkallio-Marttila & Hovinen 2004, 165). Vehnätaikinan leivontaominaisuudet perustuvat proteiinien, gliadiinin ja gluteniiniin, aikaansaamaan sitkoon. Proteiinit muodostavat taikinan sekoituksessa hydrolysoituessaan viskoelastisen verkoston, joka omaa hyvän kaasunpidätyksyvyn. Rukiin proteiineja ova sekaliinit ja gluteliinit. (Döring, Nuber, Stukenborg, Jekle & Becker 2014.) Gluteniiniproteiinit ovat merkittäviä sitkoverkoston muodostumiseksi disulfididoksin. Rukiissa ei ole gluteniineja ja rukiin sisältämien sekaliini proteiinit disulfididosten muodostaminen on huonompaa. (Beck ym. 2011.) Lisäksi rukiin pentosaanit estävät proteiinien yhdistymisen sitkoverkostoksi muodostamalla geelimäisen kalvon jauhopartikkeleiden ympärille (Bushuk 2004, 86–87; Beck ym. 2011).

Tästä johtuen ruistaikina on helpommin muovailtavissa sekä sen pinta on kosteampi ja tarttuvampi. Kuitenkin ruistaikinän käsittely niin käsin kuin koneellisesti on hankalampaa kuin vehnätaikinän. (Beck ym. 2011.)

3.2 Taikinän reologia

Reologia on aineen muodonmuutosta ja virtausta siihen kohdistuvan voiman vaikutuksesta käsittelevä tieteenala. Taikinän virtaus ja muodonmuutos ovat keskeisessä asemassa valmistettaessa leipomotuotteita. (Faridi & Faubion 1990, 1–2.) Reologialla selitetään, kuinka taikina käyttäytyy määrättyissä olosuhteissa ja sitä voidaan käyttää kuvailemaan ja ennustamaan taikinän toimintakykyä muodonmuutoksen aikana esimerkiksi leivontaprosessin eri vaiheissa. Tietoja taikinän reologisista ominaisuuksista käytetään prosessin suunnittelussa, ennustettaessa taikinän nousua sekä ylipäätään arvioitaessa taikinän laatua. Perinteisesti taikinän reologisia ominaisuuksia on arvioitu vaivaten ja venyttellen taikinaa käsissä. Reologialla on todettu olevan vahva vaikutus taikinän lopulliseen leivontalaatuun. (Dobraszczyk 2004, 401.)

Faridin ja Faubion (1989, 343–344) mukaan taikinän ainesosat muokkaavat taikinän reologiaa jatkuvasti. Etenkin hiiva muokkaa taikinaa alati ja muuttaa sen muotoa. Tästä syystä reologisten ominaisuuksien mittaaminen on haastavaa. Vasta usean tunnin kuluttua taikinän sekoituksesta on reologisten ongelmien havaitseminen mahdollista valmiista leivistä. Leipä on siinä ajassa ehditty valmistaa jo mittavia määriä. Reologiset ominaisuudet ja se kuinka taikina käyttäytyy leivontaprosessissa, määräytyvät lähes kokonaan leivontaprosessin alkuvaiheessa. Monet reologiset ominaisuudet ovat seurausta ainesosien vuorovaikutuksesta, jotka alkavat taikinän sekoituksen ja nostatuksen aikana. Lähes kaikilla taikinän raaka-aineilla on vaikutus reologisiin ominaisuuksiin, mutta suurimmat vaikutukset ovat jauholla, vedellä, hiivalla ja ilmalla. Vähäisempi vaikutus on jauhoparanteilla, suoloilla, rasvoilla, entsyymeillä ja emulgointiaineilla.

Ruistaikinän sekoitusvaihe on viimeinen prosessinvaihe, jossa leipuri voi suuresti vaikuttaa taikina reologisiin ominaisuuksiin. Taikinän sekoituksen päätavoite on saada raaka-aineet tasaiseksi homogeeniseksi massaksi ja sekoittaa ilmaa taikina joukkoon. Sekoituksessa jauhopartikkelit vettyvät eli hydratoituvat. Hydratoituminen tapahtuu sitä paremmin, mitä nopeampi sekoitusvoima sekoittimessa on. Tällöin aina uudet jauhopartikkelit pääsevät paremmin kosketuksiin veden kanssa. Sekoitusvaiheessa kriittisiä tekijöitä ovat jauhojen laatu, veden määrä ja sekoituksen voimakkuus. Veden määrällä taikinassa on suuri vaikutus taikinän reologisiin ominaisuuksiin. Monet taikinän ainesosat kilpailevat jauhojen kanssa vapaana olevasta vedestä. Samoin jauhojen komponentit kilpailevat keskenään vapaasta vedestä. Jos vettä ei ole riittävästi täyttämään kaikkien taikinän ainesosien hydratoitumisen vaatimukset, taikinän rakenne ei muodostu optimaaliseksi. Toisaalta taas ylimääräinen vapaa vesi aikaansaa löysän ja tarttuvan taikinän, joka ei vastusta laajenemista. (Faridi & Faubion 1989, 344–347)

4 TAIKINAN REOLOGIAN MITTAUSMENETELMIÄ

Mekaanisia ja reologisia mittaussmenetelmiä käytetään monissa vaiheissa uuden viljatuotteen kehitystyötä ja valmistusprosessia. Hallittu taikinan reologisten ominaisuuksien analysointi on vaikeaa ja aikaa vievää, sillä taikina on monimutkaisin yhdistelmä biologisista materiaaleista, jotka elävät ja muovaavat taikinaa koko ajan. (Faridi & Faubion 1990, 1–2.) Kuvassa 1 on luetteloituna viljatuotteiden reologisia mittaussmenetelmiä.

Reologisia mittaussmenetelmiä käytetään määrittämään taikinoiden fysikaalisia ominaisuuksia. Kun reologisia ominaisuuksia mitataan, muodonmuutos tai virtaus aiheutetaan materiaalin hallitulla ja mitattavissa olevalla tavalla. Reologiset mittalaitteet luokitellaan sen mukaan, millainen muokkaava voima on, esimerkiksi puristus, venytys, leikkaus, vääntö ja kuinka paljon muokkaavaa voimaa käytetään. Mittausten päätavoitteet ovat

- saada määrällistä eli kvantitatiivista tietoa taikinoiden rakenteellisista ominaisuuksista
- luonnehtia ja ennustaa taikinan käyttäytymistä käsittelyn sekä loppukäytön aikana
- saada tietoa taikinoiden molekyyliarakenteesta ja koostumuksesta. (Dobraszczyk 2004, 400–401.)

Table 2 Rheological methods used for cereal products

Methods	Products	Property measured
<i>Empirical methods</i>		
Mixers:	Dough	Mixing time/torque Apparent viscosity
Farinograph		
Mixograph		
Reomixer		
Extensograph	Dough	Extensibility
TAXT2/Kieffer RIG	Dough, gluten	Extensibility
Alveograph	Dough, gluten	Biaxial extensibility
Amylograph, RVA	Pastes, suspensions	Apparent viscosity Gelatinization temp.
Consistometer	Sauces, fillings	Apparent viscosity
Flow cup	Fluids, sauces, batters	Apparent viscosity
Falling ball	Fluids	Apparent viscosity
Flow viscometers	Fluids, pastes	Apparent viscosity
Fermentometers	Dough	Height, volume
Penetrometers	Semisolid foods, gels	Firmness, hardness
Texturometer, TPA	Solid foods	Texture, firmness
<i>Fundamental methods</i>		
Dynamic oscillation	Fluids, pastes, batters, doughs	Dynamic shear moduli
Concentric cylinders	Parallel plates	Dynamic viscosity
Tube viscometers:		
Capillary	Fluids	Viscosity
Pressure, extrusion	Sauces, pastes, dough	Viscosity
Pipe flow		In-line viscosity
Transient flow:	Semisolid (viscoelastic) materials	Creep, relaxation
Concentric cylinders		Moduli and time
Parallel plates		
Extension:		
Uniaxial, biaxial	Solid foods, doughs	Extensional viscosity
TAXT2 dough inflation system		Strain hardening
Lubricated compression		

Kuva 1. Viljatuotteiden reologisia mittaussmenetelmiä (Kuva: Dobraszczyk 2004, 402).

4.1 Empiiristen ja fundamentaalisten mittausmenetelmien erot

Empiiristen eli kokemuseräisten mittausmenetelmien antamat parametrit ovat heikosti määriteltyjä, mutta niiden on todettu käytännössä korreloivan hyvin ruoka-aineiden rakenteen ominaisuuksiin. Empiirisiä mittalaitteita käytetään laajasti elintarviketeollisuudessa. Ne ovat yleensä helppoja ja nopeita suorittaa sekä toistuvassa käytössä edullisia laitteita.

Imitatiiviset menetelmät jäljittelevät olosuhteita, joissa ruoka-aine on todellisuudessa. Näitä voi pitää empiiristen mittausmenetelmien alalajina. Esimerkiksi farinografi ja muut taikinoiden analysointilaitteet ovat todellisia leipätaikinan käsittely- ja työstövaiheita jäljitteleviä laitteita.

Fundamentaaliset mittausmenetelmät mittaavat tarkkaan määriteltyjä reologisia ominaisuuksia. Fundamentaaliset menetelmät käyttävät vain pientä rasitusta, tutkittavan materiaalin tulee olla yhtenäinen ja kestävä, sama-aineinen (aines, jossa ominaisuudet ovat samat kaikissa suunnissa) sekä homogeeninen eli tasakoosteinen. Lisäksi mitattavan materiaalin tulee olla joka kerralla saman muotoinen. Fundamentaaliset mittausmenetelmät ovat tavallisesti hitaita suorittaa, eivätkä ne korreloi yhtä hyvin aistein arvioidun kanssa kuten empiiriset laitteet. Lisäksi ne ovat kalliita laitteita. Edellä mainitusta syistä johtuen fundamentaaliset mittausmenetelmät eivät ole laajassa käytössä elintarviketeollisuudessa. (Bourne 2002, 108–111.)

4.2 Empiiriset reologian mittauslaitteet

Tässä luvussa esiteltävät empiiriset mittalaitteet on kehitetty erityisesti vehnäjauhojen leivontaominaisuuksien ja laadun analysointia varten. Mittalaitteilla tutkitaan jauhojen käyttäytymistä, kun niistä valmistetaan taikina kullekin mittalaitteelle ominaisella tavalla. (Edwards 2007, 139.) Empiiriset mittalaitteet ovat helppokäyttöisiä ja niitä käytetään usein leipomoissa, sillä niiden antamat tulokset ovat hyödyllisiä laadunvalvonnassa sekä arvioitaessa leivontaprosessin toimintakykyä. Mittalaitteet antavat tietoa taikinoiden laadusta ja toimintakyvystä. (Dobraszczyk 2004, 401.)

Esiteltävät menetelmät ovat niin sanottuja yksipistetestejä, joissa taikinan ominaisuuksia arvioidaan ottamalla saadusta mittalaitteen käyrästä yksi piste ja arvioidaan taikinan reologisia ominaisuuksia sen perusteella. Tällainen menetelmä jättää pois suuren osan saadusta datasta ja tulos on paikansäpitävä ainoastaan niissä olosuhteissa, joissa mittaus on suoritettu. Leipomon olosuhteet ja taikinan leivontaprosessissa läpikäymät muokkaukset eroavat paljon laboratorio-olosuhteista. Näistä syistä johtuen on haastavaa verrata tuloksia eri mittalaitteiden välillä tai yleistää tuloksia muihin muodonmuutos olosuhteisiin. Empiirisissä mittausmenetelmissä taikinanäytteen geometrinen muoto ja koko vaihtelevat. Lisäksi muokkaavan voiman ja muodonmuutoksen määrät ovat hallitsemattomia sekä epäyhtenäisiä. Nämä mittausmenetelmät ovat puhtaasti kuvailevia ja saatavat tulokset riippuvat mittalaitteesta, näytteen koosta ja muodosta sekä olosuhteista, joissa mittaus suoritetaan.

Taikinat ovat viskoelastisia, joten niiden ominaisuudet riippuvat siitä, millä voimakkuudella ja nopeudella testi suoritetaan. Jos reologinen muodonmuutos tapahtuu nopeasti, esimerkiksi sekoitus tai leikkaus, taikinan reologiset ominaisuudet ovat erilaiset kuin hitaalla muodonmuutoksella toimivat mittalaitteet. Kun mittaus suoritetaan tietyssä lämpötilassa, tietyllä nopeudella ja voimalla, ei se ole vertailukelpoinen muihin olosuhteisiin. (Dobraszczyk 2004, 401–402.)

4.2.1 Farinografi

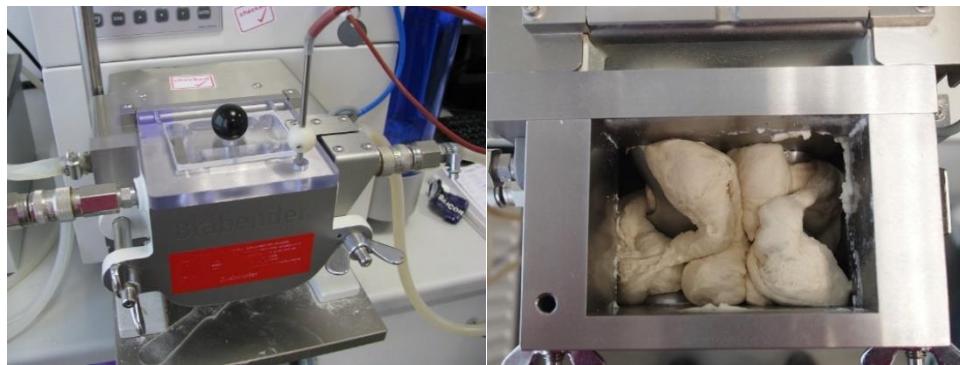
Farinografi on yksi maailman eniten käytetty taikinan rakenteen mittauslaite. Farinografi mittaa vääntömomenttia, joka aiheutuu taikinan sekoittamisesta tasaisella nopeudella. Toisin sanoen se mittaa taikinan sekoitusta vastustavaa voimaa. (Faridi & Faubion 1990, 369.) Farinografi on hyvä laadunvalvontalaite leipomoilla sekä myllyillä (Dobraszczyk 2004, 402).

Farinografia käytetään tutkittaessa jauhojen vedensidontakykyä sekä leipoutumisominaisuuksia (kuvat 2 ja 3, s. 17). Sillä voidaan määrittää taikinan muodostumisaika, sekoituskestävyys ja pehmeneminen. (Bourne 2002, 211; Salo ym. 1988, 12.) Lisäksi sillä voidaan arvioida raaka-aineiden vaikutuksia taikinan sekoitusominaisuuksiin sekä tarkistaa jauhojen yhdenmukaisuus (Causgrove 2004, 29). Saatua sekoituskäyrä eli farinogrammi havainnollistaa, kuinka taikina muuttuu sekoituksen aikana. Tuloksina saadaan kvantitatiivista tietoa taikinoiden reologisista ominaisuuksista, jotka ovat verrattavissa siihen, miten taikina käyttäytyy leivottaessa. (Bourne 2002, 211.) Farinografin tulokset ovat hyödyllisiä ennustettaessa valmiin tuotteen rakenteellisia ominaisuuksia. Esimerkiksi kova taikina tuottaa tiiviin tuotteen. (Causgrove 2004, 29.)



Kuva 2. Farinografilla tutkitaan jauhojen vedensidontakykyä sekä leipoutumisominaisuuksia. (Kuva: Flourplus n.d.)

Farinografin tarvitsema sekoitusvoima tallentuu farinografiyksikköinä FU suhteessa aikaan minuutteina, muodostaen sekoituskäyrän eli farinogrammin piirturipaperille tai tietokoneohjelmalle. Mitattaessa jauhojen vedensidontaa, kiinteä määrä jauhoa sekoitetaan veden kanssa. (Dobraszczyk 2004, 402–404.) Tällä määritetään optimi veden määrä, jolla saadaan taikinalle sellainen koostumus, että se saavuttaa 500 farinografi yksikköä, FU. Veden lisäys lopetetaan, kunnes piirturikäyrän keskikohta on 500 FU yksikössä. Tämän koostumuksen saavuttamiseen tarvittua vesimäärää sanotaan vedensidontakyvyksi. (Serna-Saldivar 2010, 492.) Vedensidontakyky kuvaa saavutettavissa olevaa taikinatulosta. Korkea vedensidontakyky on hyvä ominaisuus, sillä korkealaatuinen ja vahva jauho sitoo paljon vettä. Jauhon vedensidonta ilmoitetaan prosentteina jauhon painosta. (Salo ym. 1988, 12.)

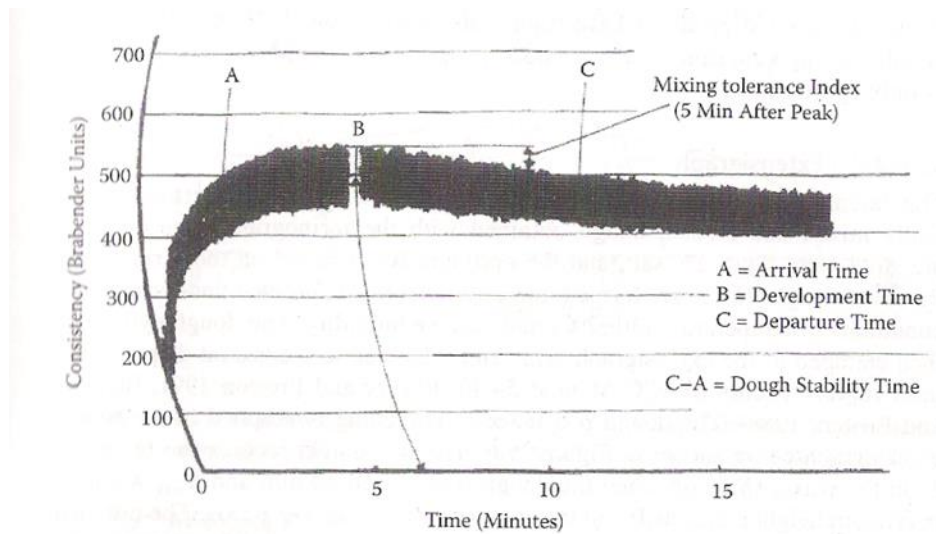


Kuva 3. Farinografin sekoituskaukalo (Kuva: Flourplus n.d.)

Vaikka veden lisäys lopetetaan, sekoitusta jatketaan noin 20 minuuttia. Tänä aikana muodostuneesta farinogrammista voidaan lukea taikinan käyttäytyminen ennen ja jälkeen maksimi konsistenssin saavuttamisen (kuva 4, s. 18). Maksimi konsistenssi on merkitty kuvaan kirjaimella B ja sillä tarkoitetaan farinogrammin korkeinta kohtaa. Taikinan muodostumisaika tarkoittaa optimi sekoitusaikaa, joka kestää sekoituksen aloittamisesta maksimi konsistenssin saavuttamiseen. Farinogrammista voidaan selvittää myös taikinan sekoituskestävyys eli se aika, kunnes farinogrammin keskikohta on 500 FU:ssa vähennettynä siitä ajasta, kunnes sekoituskäyrä alittaa 500 FU:n rajan. Tärkeä parametri on myös taikinan pehmenemisaste. Pehmenemisaste kertoo, kuinka paljon taikinan FU on laskenut 5 minuuttia sen jälkeen, kunnes taikina on saavuttanut maksimi konsistenssinsa. Sekä sekoituskestävyys että pehmenemisaste ovat tärkeitä ominaisuuksia etenkin leipureille, koska ne liittyvät läheisesti gluteenin kestävyteen ja taikinan ylisekoituksen kestämiseen. (Serna-Saldivar 2010, 492.) Farinogrammiksi piirtyneen käyrän tulkinta on suuresti subjektiivista eli käyttäjästä riippuvaa, mikä on ongelmallista luotettavuuden ja verrattavuuden kannalta (Dobraszczyk 2004, 404).

Jauhojen vedensidonnan ja taikinan koostumuksen mittaus mahdollistaa leivontaprosessin käyttäytymisen ennustamisen. Jos jauhoihin lisätään liikaa vettä, muodostuu löysä taikina. Tällöin taikinan koostumus on huono ajatellen leivottavuutta ja kaasunpidätyskykyä. Lisäksi taikinaa on vaikea käsitellä ja se on tarttuvaa. Jos vettä lisätään jauhoihin liian vähän, muodostuu

kova taikina. Myös kovaa taikinaa on vaikea käsitellä ja siitä leivotut leivät ovat kovia, tiiviitä ja kuivia. (Dobraszczyk 2004, 402–404.)



Kuva 4. Taikinan sekoitusta vastustava voima piirtyy farinogrammiksi. Kohdassa A taikina on saavuttanut 500 FU yksikköä, kohdasta B voidaan lukea taikinan maksimi konsistenssi ja kohdassa C taikina alittaa 500 FU:n rajan. C-A kuvastaa taikinan sekoituskestävyyttä ja pehmenemisaste on luettavissa viisi minuuttia maksimi konsistenssin saavuttamisesta. (Kuva: Serna-Saldivar 2010, 491.)

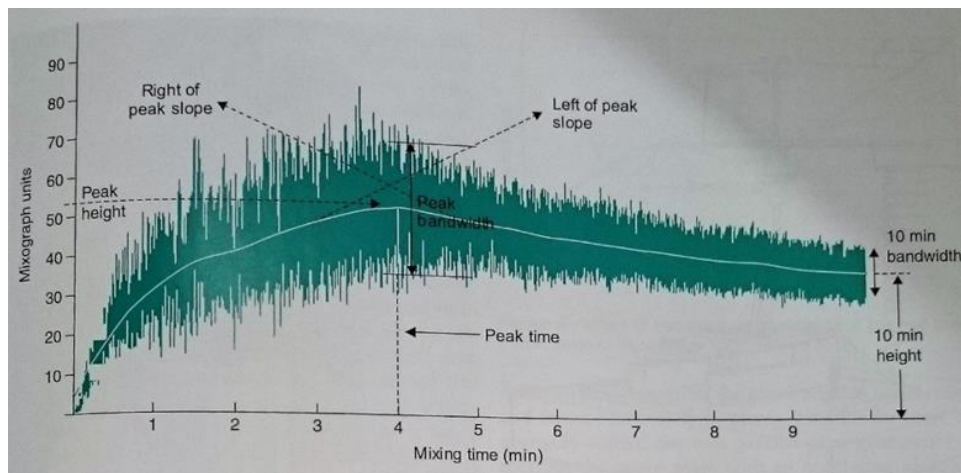
4.2.2 Miksografi

Miksografi mittaa farinografिन tavoin vääntömomenttia eli taikinan sekoitusta vastustavaa voimaa (kuva 5) (Dobraszczyk 2004, 402; Faridi & Faubion 1990, 348). Laite eroaa farinografista sekoitustavassaan, joka on voimakas ja nopea tappisekoitus menetelmä. Myös miksografi tuottaa empiiristä tietoa jauhojen ja veden seoksen sekoitusominaisuuksista tallentamalla taikinan sekoitustappeihin kohdistaman vastustavan voiman sekoituksen aikana. (Faridi & Faubion 1990, 348.)



Kuva 5. Miksografi mittaa taikinan aiheuttamaa sekoitusta vastustavaa voimaa. (Kuva: Cigi & Goodman 2014)

Miksografi mittaa taikinan muodostumisaikaa, taikinan sekoitusta vastustavaa voimaa ja taikinan sekoituskestävyyttä (Faridi & Faubion 1990, 391–392). Sillä voidaan myös ennustaa jauhojen vedensidontaa ja leivontaominaisuuksia (Dobraszczyk 2004, 402). Pääasiallisesti laitetta on käytetty mittaessa jauhojen vahvuutta (Edwards 2007, 153). Miksografi toimii hyvin pienillä jauhomäärillä (Dobraszczyk 2004, 402) ja mittaus on noin puolet lyhyempi kuin farinografilla (Edwards 2007, 153). Lisättävä veden määrä ja näytteen koko vaihtelevat proteiinipitoisuuden ja jauhojen kosteuspitoisuuden mukaan (Serna-Saldivar 2010, 493–494). Miksografissa on planeetaarisesti pyörivät tapit, jotka suuntautuvat vertikaalisesti sekoittamaan taikinaa. Sekoitusta vastustava voima piirtyy sekoituskäyräksi eli miksogrammiksi (kuvat 6 ja 7, s. 20). Miksogrammista arvioidaan jauhojen prosessointiominaisuuksia ja leivontalaatua. (Dobraszczyk 2004, 404.)

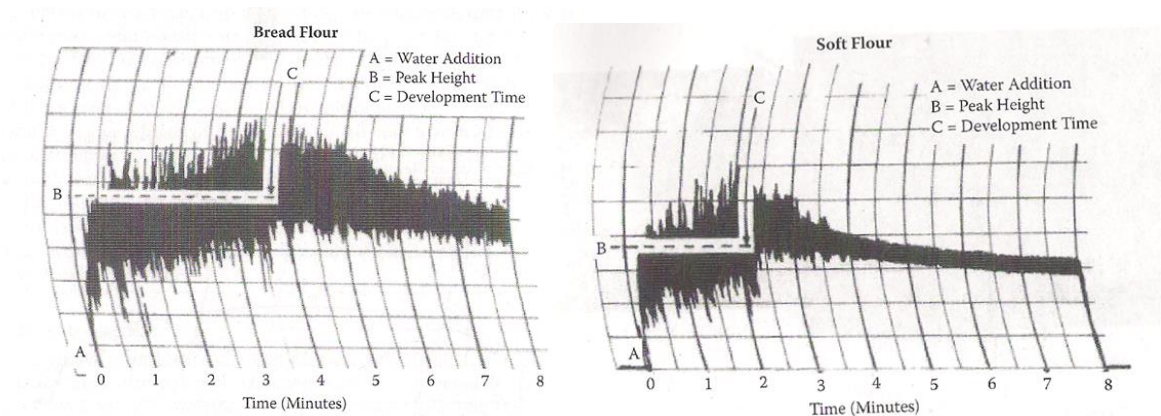


Kuva 6. Miksografi mittauksesta piirretty miksogrammi. Kuvassa 'Peak time' tarkoittaa taikinan muodostumisaikaa eli maksimikonsistenssin saavuttamista. Käyrän tulkinnassa kiinnostuksen kohteina ovat käyrän pystysuuntainen leveys, alapuolinen pinta-ala sekä kulman jyrkkyys. (Kuva: Dobraszczyk 2004, 405)

Miksogrammi ei ole yhtä laaja kuin farinogrammi ja sen tulkitseminen on huomattavasti tulkinnanvaraisempaa (Serna-Saldivar 2010, 493–494). Miksogrammin y-akselilta luetaan taikinan aiheuttama sekoitusta vastustanut voima miksogrammiyksiköinä ja x-akselilta sekoitukseen kulunut aika minuutteina. Käyrän pystysuuntainen leveys liittyy koheesiuteen eli koossapysyvyyteen ja taikinan elastisuuteen. (Faridi & Faubion, 31.)

Yleisimmin miksogrammista halutaan lukea taikinan muodostumisaika ja sekoituskestävyys (Faridi & Faubion 1990, 349–350). Muodostumisajalla tarkoitetaan aikaa, joka kestää taikinan maksimi konsistenssin saavuttamiseen (Serna-Saldivar 2010, 493–494). Miksografissa ei ole taikinan maksimi konsistenssin osoitinta kuten farinografissa. Tämä tarkoittaa, että jokin muuta metodologiaa tulee käyttää, jotta jauhojen maksimi konsistenssi eli optimi vedensidonta saadaan selville. Jauhojen sekoituskestävyys on määritettävissä heikentymiskulmasta, käyrän alapuolen pinta-alasta, käyrän korkeudesta tietyn ajan kuluttua maksimikonsistenssista sekä käyrän kulman suuruudesta nousevan ja laskevan asentojen välissä. (Faridi & Faubion 1990, 349–350.) Yleisesti käyrän korkeus, kulma ja paksuus määritetään, etenkin

ennen ja jälkeen kun taikinan muodostumisaika on saavutettu (Serna-Saldívar 2010, 493–494).



Kuva 7. Vasemmalla sekoitusta kestävä kovan jauhon miksogrammi ja oikealla huonosti sekoitusta kestävä heikon jauhon miksogrammi. Käyrästä on hyvin havaittavissa muodostumisaikojen ja käyrien pystysuuntaisten leveyksien erot. (Kuva: Serna-Saldívar 2010, 494).

4.2.3 Ekstensografi

Ekstensografilla tutkitaan taikinan venymisominaisuuksia eli venyvyyttä ja venytystä vastustavaa voimaa (kuva 8) (Dobraszczyk 2004, 405; Salo ym. 1988, 13). Venytysvoimalla tarkoitetaan voimaa, joka käytetään taikinanäytteen venyttämiseen, kunnes se katkeaa. Ekstensografilla voidaan tutkia myös jauhojen laatua sekä jauhonparannusaineiden vaikutusta taikinaan. Ekstensografi piirtää venyttämiseen vaadittavaa voimaa kuvaavan käyrän eli ekstensogrammin (kuva 9, s. 21). (Salo ym. 1988, 13.)

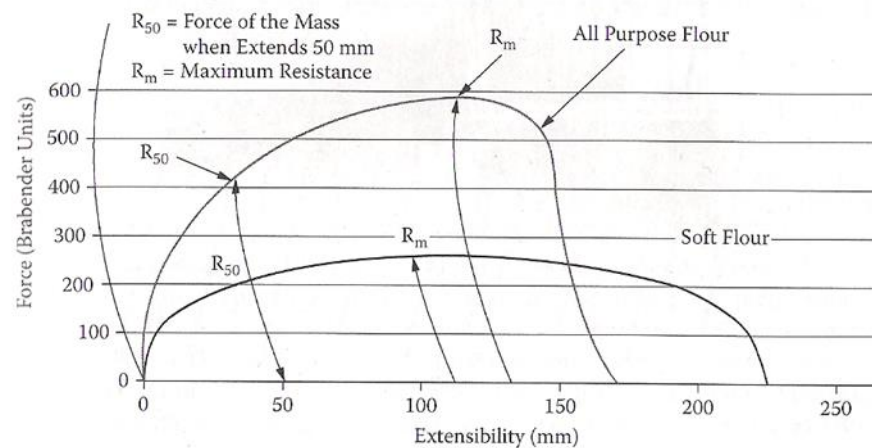


Kuva 8. Ekstensografilla tutkitaan taikinoiden venymisominaisuuksia. (Kuva: RealAgriculture News Team 2015)

Ekstensografi mittaa optimaaliseen koostumukseen farinografilla sekoitetun taikinan reologisia ominaisuuksia. Valmistettu taikina muotoillaan sy-

linterin malliseksi ja annetaan kohota hallitussa lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa vaihtelevia aikoja. (Serna-Saldivar 2010, 492.) Tämän jälkeen taikinanäyte kiinnitetään telineisiin ja sitä venytetään näytteen keskikohdan läpi tasaisella nopeudella kulkevalla koukulla, kunnes taikina katkeaa. Taikinan venytyksen kestävyys piirtyy ekstensogrammiksi. (Dobraszczyk 2004, 405.)

Venytystä vastustava voima (R) luetaan y-akselilta ja venyvyys (E) x-akselilta voima-välimatka kuvaajasta. Venytysvastus havaitaan ekstensogrammin korkeutena ja venyvyys sen pituutena. Vastustavan voiman ja venyvyyden suhde R/E on tärkeä parametri, sillä se kuvastaa taikinan vahvuutta ja täten taikinan toimintaa leivontaprosessissa. (Serna-Saldivar 2010, 492) Hyviin leipoutumisominaisuuksiin on perinteisesti yhdistetty korkea venytystä vastustava voima sekä hyvä venyvyys eli laaja käyrän pinta-ala (Dobraszczyk 2004, 405). Käyrän rajaama pinta-ala on verrannollinen energiaan (W), joka tarvitaan taikinanäytteen venyttämiseksi repeämiseen saakka. Tarvittava energiamäärä on verrannollinen vehnätaikinan gluteenin vahvuuteen. Analyysi suoritetaan tavallisesti tietyin aikaväleillä, esimerkiksi 45, 90 ja 135 minuuttia, samalla näytteellä, jotta taikinan käyttäytyminen saadaan selville eri nostatusaikojen kuluttua. (Serna-Saldivar 2010, 492.)



Kuva 9. Ekstensogrammin korkeus kuvastaa taikinan venytystä vastustavaa voimaa ja pituus taikinan venyvyyttä. Voiman ja venyvyyden suhde kertoo jauhojen vahvuudesta ja täten niiden leivontaominaisuuksista. (Kuva: Serna-Saldivar 2010, 493)

4.2.4 Alveografi

Alveografi antaa ekstensografin tavoin tietoa taikinan venytystä vastustavasta voimasta ja venyvyydestä (Faridi & Faubion 1990, 353–355). Menetelmä jäljittelee taikinan kaasunpidätyskykyä fermentoinnin eli nostatuksen aikana. Alveografi mittaa taikinan ominaisuuksia, kun ilmaa syötetään muotoon puristettuun taikinakiekkoon (kuva 10). (Serna-Saldivar 2010, 492.) Alveografi kuvastaa ekstensografiaa paremmin taikinan todellista käyttäytymistä nostatuksen aikana ja leivonnan alkuvaiheissa, sillä ekstensografissa taikina laajenee vakionopeudella yhteen suuntaan, kun taas alveografi laajentaa taikinaa kahteen suuntaan ja laajenemisen aste vaihtelee sitä mukaan, kun kupla kasvaa. (Faridi & Faubion 1990, 353–355.)



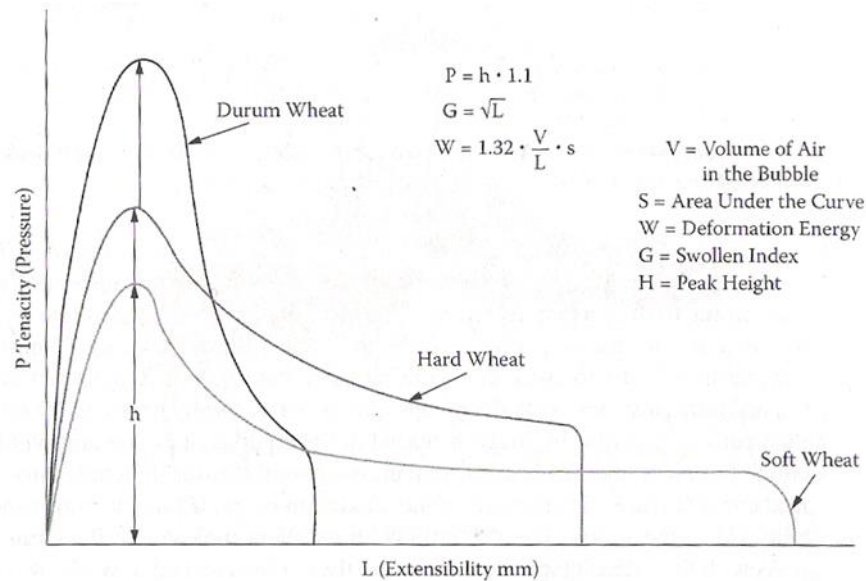
Kuva 10. Alveografi mittaa taikinan venyvyyttä. Menetelmä jäljittelee taikinan kaasunpidätyskykyä fermentoinnin aikana. (Kuva: HGCA n.d.)

Taikina valmistetaan jauhoista ja vedestä käyttäen kiinteää sekoitinta ja vakiota vesimäärää. Valmis taikina puristetaan ulos sekoittimesta seuraten standardisoitua kaavaa. (Dobraszczyk 2004, 405.) Taikinapalaset litistetään tiettyyn paksuuteen, muotoillaan kiekoiksi ja laitetaan nousemaan 20 minuutiksi. Kiekot puristetaan tämän jälkeen ympärysmittaansa, asetetaan alveografiin ja niihin kohdistetaan puhallusilma alhaaltapäin. Tulokseksi saadaan laajeneva taikinakupla. Kuplaa täytetään tasaisella paineella, kunnes se puhkeaa ja puhallus paineen muutos tallentuu alveogrammiksi (kuva 11, s. 23). (Dobraszczyk 2004, 405; Serna-Saldivar 2010, 492.)

Alveogrammin tulkinta tapahtuu samalla tavalla kuin ekstensogrammin. Maksimi korkeus kuvastaa vastustavaa voimaa ja käyrän pituus kuvastaa laajentumista. (Faridi & Faubion 1990, 371.) Alveogrammissa käyrän maksimi korkeus P, eli laajenemista vastustava voima, on luettavissa kuvaajan y-akselilta ja käyrän pituus L, eli venyvyys, x-akselilta. Korkeuden ja pituuden suhde P/L on erinomainen jauhojen laadun osoitin. (Serna-Saldivar 2010, 492.) Jauhojen vahvuus liittyy suureen vastustavaan voimaan ja hyvään laajenemiskykyyn. Siksi käyrän alapuolinen pinta-ala on hyvä jauhojen vahvuuden osoitin. (Faridi & Faubion 1990, 371.)

Kuten myös ekstensogrammissa, käyrän rajaama pinta-ala on verrannollinen energiaan (W), joka vaaditaan taikinan repeämiseksi (Serna-Saldivar 2010, 492; Faridi & Faubion 1990, 371.) Alveografissa taikina valmistetaan

vakiolla vesimäärällä huolimatta jauhon tyypistä. Tällöin vastustavan voiman määrä on voimakkaasti yhteydessä jauhojen vedensidontakykyyn. (Faridi & Faubion 1990, 371.)



Kuva 11. Eri vahvuisten jauhojen alveogrammeja. (Kuva: Dobraszczyk 2004, 405.) Y-akselilta luetaan taikinakuplan kestävä maksimi puhalluspaine ja x-akselilta kuinka pitkän matkan taikinakupla venyy. Käyrän rajaama pinta-ala W kuvastaa jauhojen vahvuutta. Jos taikinan vahvuuden ja venyvyyden suhde P/L on matala, on tutkittava taikina venyvää mutta jauho heikkoa. (Edwards 2007, 142.)

4.3 Rakenneanalysaattori

Rakenneanalysaattori on rakenteen mittauslaite, jolla voidaan mitata käytännössä minkä tahansa aineen ominaisuuksia, kuten kovuutta, haurautta, tarttuvuutta ja venyvyyttä (kuva 12). Rakenneanalysaattori kykenee suorittamaan fundamentaalisia, empiirisiä ja imitatiivisia mittauksia kompression tai vedon avulla. Rakenneanalysaattoriin on saatavissa useita erilaisia antureita ja lisävarusteita eri käyttötarkoituksiin. (Stable Micro Systems n.d.a.)



Kuva 12. Stable Micro Systems® rakenneanalysaattorimalleja (Kuva: Stable Micro Systems n.d.b.)

Rakenneanalysaattorit ovat elektronisesti ohjattuja laitteita, jotka käyttävät voimakennoa tallentaakseen mittauksessa tarvittavan voiman (Winopal ym. 2015, 4). Yksinkertaisessa mittauksessa rakenneanalysaattorin anturi laskeutuu mitattavan aineen pinnalle, työntyy näytteeseen tai pusertaa sitä alaan ja palautuu takaisin lähtöpisteeseensä (Stable Micro Systems n.d.a). Voimakennon käyttämä työ tallentuu tietokoneohjelmaan käyräksi. Mitta-anturi liikkuu tasaisella nopeudella ja mittaussyvyys pysyy vakiona. Anturin työntyminen mitattavaan aineeseen aiheuttaa palautumattoman aineen murskautumisen ja virtaamisen. (Bourne 2002, 110.)

Seuraavaksi käsitellään Stable Micro Systems® rakenneanalysaattoreille kehitettyjä taikinan reologian analysointimenetelmiä sekä niissä tarvittavaa välineistöä.

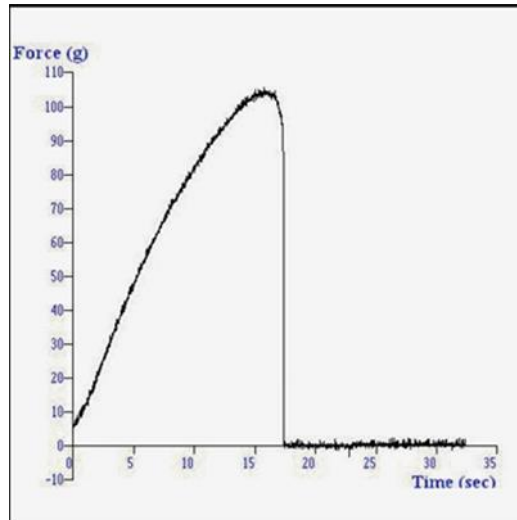
4.3.1 Kieffer dough and gluten extensibility rig

Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig varuste (kuva 13) mahdollistaa taikinan ja sitkon venyvyyden mittaamisen (Dobraszczyk 2004, 405). Sen avulla voidaan mitata taikinan venytystä vastustava voima ja venyvyys näytteen katkeamiseen saakka (Stable Micro systems n.d.d.). Menetelmällä saadaan selville taikinoiden ja gluteenin leipoutumisominaisuuksia kuten venyvyys, elastisuus ja tarttuvuus (Winopal ym. 2015, 5).



Kuva 13. Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig varusteen avulla voidaan mitata taikinan ja sitkon venyvyyttä. (Kuva: Smewing 2014a)

Näyte valmistetaan jakamalla taikina identtisiin ohuisiin osioihin, joiden annetaan hetki levätä ennen asettamista uurteiselle alustalle. Alusta laite-taan jousikuormitteiseen puristimeen, joka on kiinnitetty rakenneanalysaattoriin. Mittaus tapahtuu siten, että koukulla varustettu anturi nousee ylös ja venyttää taikinanäytettä, kunnes näyte katkeaa. Tarvittu voima ja aika katkeamiseen saakka tallentuu tietokoneohjelmistoon käyräksi (kuva 14, s. 25) (Stable Micro systems n.d.d.; Dobraszczyk 2004, 405)



Kuva 14. Taikinan venyvyysmittauksen kuvaaja voima suhteessa aikaan koordinaatistossa. (Kuva: Smewing 2014a)

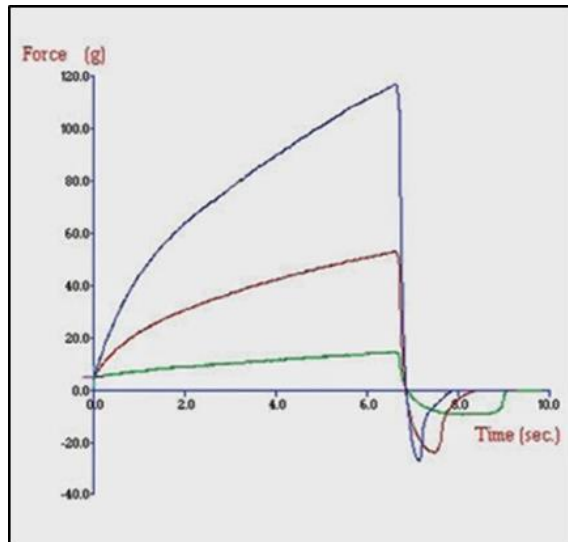
4.3.2 Dough preparation set

Dough preparation set varuste on kehitetty keksitaikinoiden kovuusmittauksia varten. Setti sisältää näyterenkaan, ilmanpoistomännän ja tasoitusmännän (kuva 15). (Smewing 2014b.)



Kuva 15. Dough Preparation Set varustetta käytetään keksitaikinoiden analysoimiseksi rakenneanalysaattorilla. (Kuva: Smewing 2014b)

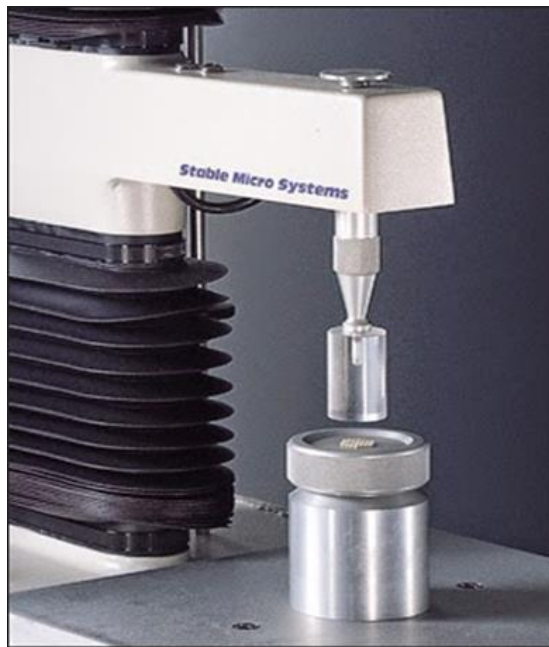
Taikinanäyte lisätään näyterenkaaseen. Koska taikinan sisällä on ilmataskuja, jotka voivat vääristää mittaustulosta, painetaan taikinaa täynnä olevaan näyterenkaaseen piikeillä varustettu ilman poisto mäntä. Tämän jälkeen näytetaikinan pinta tasoitetaan vielä tasoitusmännällä. Kun näyte on valmis, asetetaan näyterengas rakenneanalysaattorin jalustalle. Mittaus suoritetaan 6 mm:n sylinterianturilla, joka työntyy taikinanäytteeseen ja mittaa keksitaikinan kovuuden. Mittauksesta piirtyy kuvan 16 (s. 26) mukainen käyrä. (Stable Micro Systems. n.d.c)



Kuva 16. Keksitaikinoiden kovuusmittausten kuvaajia voima suhteessa aikaan koordinaatistossa. (Kuva: Smewing 2014b)

4.3.3 Chen-Hoseney dough stickiness rig

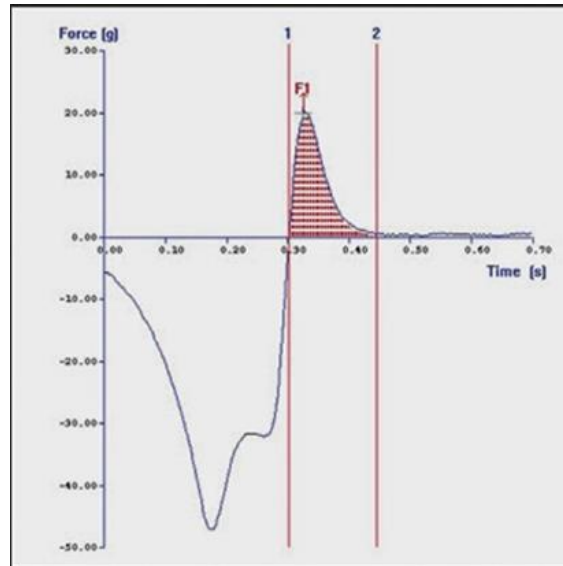
Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig varustetta käytetään taikinan tarttuvuuden tutkimiseen (kuva 17). Liiallisesti tarttuva taikina johtuu muun muassa ylisekoituksesta, liiallisesta veden lisäyksestä tai suuresta proteolyttisten entsyymien aktiivisuudesta. (Stable Micro Systems n.d.b.)



Kuva 17. Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig varusteen avulla tutkitaan taikinan tarttuvuutta. (Kuva: Smewing 2015a)

Chen-Hoseney Dough Stickiness rig varuste on taikinakenno. Ennen mitauksen suoritusta kennossa oleva kammio ruuvataan äärimmilleen auki. Kammio täytetään taikinalla ja taikinan pinta tasataan kammion reunan tasolle lastan avulla. Kennoon ruuvataan kiinni pursotuskansi, jonka rei'istä

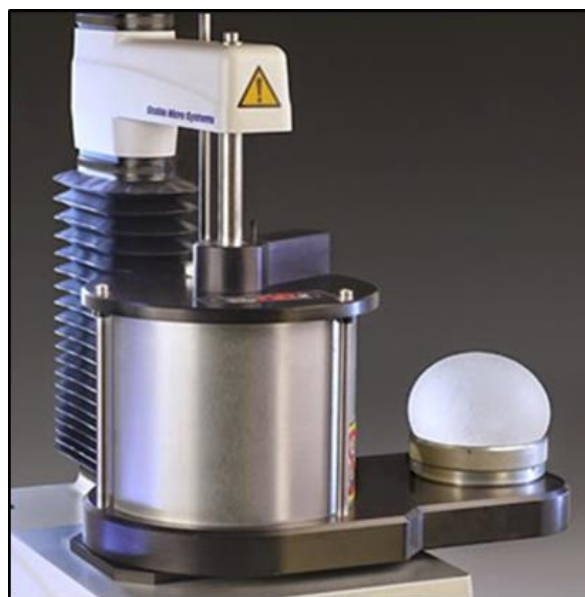
taikina pursottuu, kun kantta ruuvataan tiukemmalle. Taikinaa pursotetaan ulos noin 1 mm ja sen annetaan hetki levätä. Tämän jälkeen 25 mm sylinteranturilla suoritetaan tarttuvuustesti. Mittauksesta piirryneestä kuvaajasta (kuva 18) voidaan lukea taikinan tarttuvuus eli käyrän korkein kohta, x-akselin yläpuolinen käyrän rajaama pinta-ala eli tarttumisen tekemä työ sekä pituus, jonka näyte venyy anturin palautuessa. (Stable Micro Systems. n.d.c.)



Kuva 18. Taikinan tarttuvuusmittauksen kuvaaja voima suhteessa aikaan koordinaatistossa. (Kuva: Smewing 2015a)

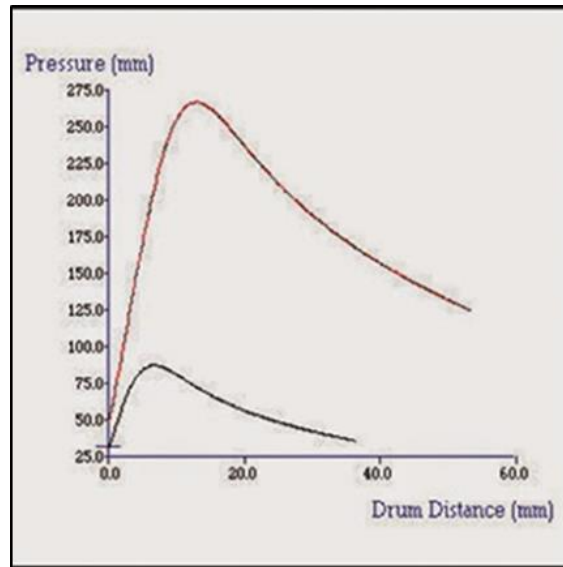
4.3.4 D/R dough inflation system

D/R Dough Inflation System on lisävaruste rakenneanalysaattorille, joka mittaa taikinan laajentumiskykyä, kun taikinapalaa täytetään ilmalla (kuva 19). Menetelmä on fundametaalinen ja mukailee taikinan nostatuksen aikaisia todellisia olosuhteita. (Dobraszczyk 2004, 405.)



Kuva 19. D/R Dough Inflation System varusteen avulla voidaan tutkia taikinan laajentumiskykyä. (Kuva: Smewing 2015b)

Taikinän ilmalla täyttö tapahtuu siten, että rakenneanalysaattorilla painetaan mäntää, joka puhaltaa ilmaa taikinapalaan alhaaltapäin. Painallusvoima puhalluksen aikana tallentuu ja täyttyneen taikinakuplan tilavuus lasketaan männän siirtymästä (kuva 20). Menetelmä mahdollistaa taikinän ja gluteenin reologisten ominaisuuksien mittaamisen. Menetelmä on helppokäyttöinen, sillä itse mittaus, tulosten esitys ja asetusarvojen laskenta tapahtuvat automaattisesti. Menetelmä on hyvä esimerkiksi tutkimukseen, laadunvalvontaan ja prosessinohjaukseen. (Stable micro systems n.d.e.)



Kuva 20. Laajentumiskykymittauksen kuvaaja. Koordinaatistossa y-akselilla on männän työntämiseen käytetty paine ja x-akselilla männän kulkema matka. (Kuva: Smewing 2015b)

5 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään tämän opinnäytetyön toimeksiantoa, eli tarkastellaan ruistaikinoiden vertailevaa tutkimusta rakenneanalysaattorilla ja farinografilla. Tutkimus suoritettiin keväällä 2015 Lahden leipomon laadunvalvontalaboratoriossa. Ensin käydään läpi tutkimuksen taustaa sekä miten mittaukset suoritettiin. Lopuksi käsitellään saatuja mittaustuloksia tilastolaskennan menetelmin.

5.1 Tutkimuksen tausta

Lahden leipomon laadunvalvontalaboratoriossa käytetään Brabender® farinografia taikinoiden kiinteyden ja vaivausominaisuuksien määrittämiseksi. Eniten valmistettavista taikinoista farinografimittaukset pyritään suorittamaan päivittäin. Mittausmenetelmän ongelmaksi koetaan, että yhden taikinan mittaamiseen, taikinanäytteen hakemisesta farinografिन pesemiseen, kuluu aikaa noin 10–15 minuuttia. Lisäksi leipomolla oleva farinografi on jo hyvin vanha, eikä siihen ole enää saatavilla varaosia.

Leipomolla on Stable Micro Systems TA.XT plus -rakenneanalysaattori, jota käytetään valmiiden leipien rakenteen analysointiin. Samanlaista rakenneanalysaattoria käytetään Oulun leipomolla taikinoiden rakenteen tutkimiseksi. Mittaus on nopea ja yksinkertainen suorittaa. Oulussa taikinat valmistetaan padoissa ja taikinoiden rakennemittaus tapahtuu siten, että pata työnnetään mittauspisteelle ja rakennemittaus suoritetaan suoraan taikinapadasta. Lahdessa osa valmistuslinjoista on patataikinalinjoja. Suurimmaksi osaksi taikinat valmistetaan kuitenkin ruuvisekoittimilla, joista taikina putoaa suoraan lepohihnalle. Tästä syystä Oulun menetelmää ei sellaisenaan voitu hyödyntää Lahdessa.

Vaikka rakenneanalysaattorille on olemassa useitakin taikinan rakenteen mittausmenetelmiä, joita käsiteltiin luvussa 4.3, ei niistä mikään sovellu suoraan toivottuun tarkoitukseen. Lisäksi ruistaikinan rakenne eroaa suuresti vehnätaikinoista, joille käsitellyt menetelmät on kehitetty. Vehnätaikinat ovat viskoelastisia ja venyviä, kun taas ruistaikinat märkiä ja tarttuvia. Lahden leipomon tarpeisiin oli kehitetty rakenneanalysaattorilla suoritettava rakenteenmittausmenetelmä. Menetelmän käyttöönotto sekä sen luotettavuuden ja toistettavuuden selvittäminen oli kuitenkin jäänyt kesken.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko rakenneanalysaattorille kehitetty ruistaikinoiden mittausmenetelmä toistettavasti suoritettavissa ja luotettava. Taikinoiden rakennetta tuli analysoida rinnakkain farinografilla sekä rakenneanalysaattorilla. Tällöin voitiin selvittää, mitkä farinografiarvot vastaavat rakenneanalysaattorilla saatavia arvoja.

5.2 Kehitetyn rakenneanalyysin kuvaus

Lahden leipomolla taikinanäytteet haetaan sekoitusruuvien päistä tai taikinapadoista näyteastioihin. Laadunvalvonta-analyysit suoritetaan taikinaparvella sijaitsevassa pistelaboratoriossa. Kehitetty analyysimenetelmä mukaillee osittain luvussa 4.3.2 esiteltyä keksitaikinoiden mittausmenetelmää. Kehitettyssä menetelmässä taikinanäyte laitetaan kuvassa 21 olevaan renkaaseen ja taikinan pinta vedetään tasaiseksi raapan avulla. Taikinarengaaseen oli päädytty siitä syystä, että taikinan pinta on mitattaessa tasainen ja näytettä pysyy mittauksesta toiseen suhteellisen vakiona.



Kuva 21. Taikinoiden rakenneanalyysimittauksessa käytettävä taikinarengas ja raappa, jolla taikinan pinta vedetään tasaiseksi. (Kuva: Salonen)

Sylinterin mallinen mittapää (kuva 22) oli valikoitunut käytettäväksi joutuksen sen sopivasta osumapinta-alasta suhteutettuna taikinanäytteen pintaalaan renkaassa. Taulukossa 4 (s. 31) on nähtävissä mittausalustan ja mittapään tekniset tiedot.



Kuva 22. Taikinoiden rakennemittauksissa käytettävä 20 mm halkaisijallinen ontto mittapää.

Taulukko 4. Rakennemittauksessa käytettävien mittausalustan ja mittapään tekniset tiedot.

Mittausalusta	Mittapää
Taikinarengas	SMS P/20 ontto sylinteri
$\varnothing = 9 \text{ cm}$	$\varnothing = 2 \text{ cm}$
Taikinänäytteen pinta-ala $= 63,62 \text{ cm}^2$	Osuma pinta-ala $= 3,14 \text{ cm}^2$
$h = 5,5 \text{ cm}$	$h = 4,0 \text{ cm}$

Rakenneanalysaattorimittauksista saatavat mittauskäyrät ja tarvittu painallusvoiman määrät tallentuvat Exponent-tietokoneohjelmistoon. Exponent-ohjelmistoon laaditun taikinoiden kovuusmittausprojektin parametrit olivat taulukon 5 mukaiset. Rakenneanalysaattorissa käytettiin 5 kg:n voimakennon. Mittaustulokseksi rakenneanalysaattori antoi voiman (force) grammoina, jonka anturi käytti painautuessaan 2 cm:n matkan taikinänäytteeseen. Mittaustarkkuus oli 0,1 g.

Taulukko 5. Parametrit kovuusmittauksille Exponent ohjelmiston projektissa.

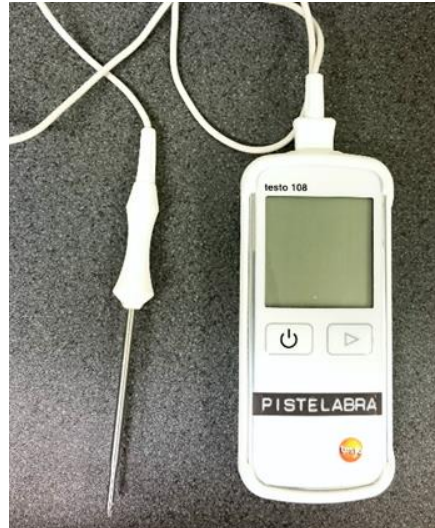
Caption	Value	Units
Test Mode	Compression	
Pre-Test Speed	2,00	mm/sec
Test Speed	1,00	mm/sec
Post-Test Speed	10,00	mm/sec
Target Mode	Distance	
Distance	20,0	mm
Trigger Type	Auto (Force)	
Trigger Force	10,0	g
Break Mode	Off	
Stop Plot At	Start Position	
Tare Mode	Auto	
Advanced Options	On	

5.3 Mittaukseen vaikuttavia tekijöitä

Ennen tutkimuksen aloittamista listattiin tekijöitä, joilla voi olla vaikutus saataviin mittaustuloksiin:

- mitattava taikina
- taikinan lämpötila
- taikinan kosteusprosentti
- mitattavan taikinänäytteen määrä
- taikinänäytteen seisonta-aika
- taikinan käsittely.

Oletettiin, että taikinan lämpötila ja kosteusprosentti vaikuttavat sen kiinteeyteen ja kovuuteen, sillä mitä lämpimämpi ja kosteampi taikina on, niin sitä löysempi se on. Vaikka taikinoiden lämpötilat pysyvät tavallisesti melko tasaisina, sillä lämpötila säätyy automaattisesti tai taikinantekijän toimesta taikinaan lisättävän veden avulla, päätettiin jokaisesta taikinanäytteestä mitata lämpötila. Lämpötila mitattiin Teston digitaalisella lämpömittarilla (kuva 23).



Kuva 23. Teston digitaalinen lämpömittari. (Kuva: Salonen)

Taikinantekijät säätelevät taikinoiden kovuuksia kasvattamalla tai vähentämällä lisättävän veden määrää. Tällöin myös taikinan kosteusprosentti kasvaa tai laskee. Näytetaikinoiden kosteusprosentti tutkittiin AND MX 50 -halogeenikuivaimella (kuva 24). Taikinoiden lämpötilat sekä kosteusprosentti mitattiin rakenneanalyyysien yhteydessä, jotta tulosten tarkastelu vaiheessa voitiin arvioida näiden tekijöiden vaikutukset saatuihin tuloksiin.



Kuva 24. AND MX 50 -halogeenikuivain. (Kuva: Salonen)

Taikinanäytteen ylimääräistä ja tarpeetonta käsittelyä, kuten painelua, kääntelyä, sekoittamista, tuli välttää, jotta käsittelyn vaikutukset mittaustuloksiin minimoituisivat. Taikinanäytteen seisottamista pöydällä vakioajan ennen mittausta harkittiin. Laboratorion lämpötilaolosuhteet vaihtelivat suuresti eri päivinä ja ilmalämpöpumppu aiheutti ilmavirtausta mittauspisteen luona. Taikinanäytteet olisivat tästä johtuen nousseet eri mittauserroilla eri tavoin, mikä aiheutti riskin mittaustulosten luotettavuudelle. Taikinan nopean ja hallitsemattoman nousun vuoksi päädyttiin suorittamaan mittaukset heti, kun näyte oli saatu valmistettua.

Rakenneanalysaattorin tiedettiin olevan huomattavasti herkempi ja tarkempi mittalaite kuin farinografi. Lisäksi laitteiden toimintaperiaatteet erosivat huomattavasti toisistaan. Täten oli oletettavaa, että rakenneanalysaattorilla saatavat kovuustulokset ovat tarkkoja ja niiden vaihteluväli eri FE-arvoilla on suuri.

5.4 Koesuunnitelma

Tutkimuksessa päätettiin tarkastella kolmen eri tuotteen ruistaikinoita, joista käytetään tässä työssä nimiä taikina 1, taikina 2 ja taikina 3. Nämä taikinat valittiin, koska niitä valmistettiin todennäköisimmin rakennemittauksen suorituksen aikaan. Lisäksi nämä kolme taikinaa erosivat ominaisuuksiltaan, jolloin voitiin nähdä miten rakenneanalysaattori reagoi erilaisilla taikinoilla. Taikina 1 oli melko löysää ja sen seassa oli kokojyviä. Taikina 2 oli taikinoista selvästi kovin ja vaikein käsitellä, mutta rakenne oli tasainen. Taikina 3 oli kovempi kuin taikina 1, mutta löysempi kuin taikina 2 ja sen rakenne oli tasainen. Taikinaa 1 päästiin tutkimaan kahdelta eri valmistuslinjastolta, linjoilta 4 ja 7. Taikina 2 valmistettiin linjalla 6 ja taikina 3 linjalla 9.

Ennen varsinaisten kovuusmittauksen suoritusta taikinan 1 reseptillä valmistettiin koetaikinat tuotekehityslaboratoriossa. Kokeeksi valmistettiin löysä, normaali ja kova taikina, jotka analysoitiin rinnakkain rakenneanalysaattorilla ja farinografilla. Tällä haluttiin selvittää kasvaako rakenneanalysaattorin antamat arvot samalla tavalla farinografiarvojen kanssa, kun taikina kovenee.

Koetaikinoiden analysoinnin jälkeen alettiin suorittaa varsinaisia mittauksia valituista kolmesta taikinasta neljältä eri valmistuslinjastolta. Varsinaista päivittäistä näytteenottosuunnitelmaa ei ollut mahdollista tehdä, sillä taikinoiden valmistusajankohtia ei voinut etukäteen tietää. Taikinoita analysoitiin sitä mukaa, kun niitä valmistettiin ja kaikilta neljältä valmistuslinjastolta pyrittiin saamaan vähintään 15 mittausta.

Mittauksen suorituksen kulku:

- Taikinanäyte haettiin ruuvisekoittimen päästä näyteastiaan.
- Taikinasta mitattiin lämpötila sekä kosteus.
- Valmistettiin näyte farinografiin ja käynnistettiin mittaus.
- Valmistettiin näyte rakenneanalysaattoriin ja suoritettiin mittaus.

- Saadut kovuustulokset kirjattiin Excel-taulukkoon (liite 2).

5.5 Rakennemittausten suoritus

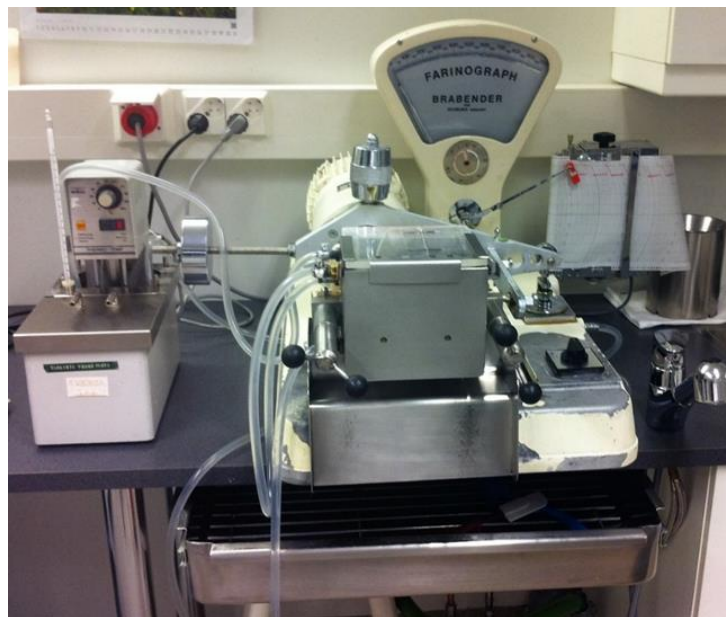
Taikinoiden kovuusmittaukset suoritettiin rinnakkain samasta näytteestä farinografilla ja rakenneanalysaattorilla. Seuraavassa luvussa selitetään taikinäytteiden valmistus sekä kovuusmittausten suoritus farinografilla ja rakenneanalysaattorilla.

5.5.1 Taikinäytteet

Näytetaikina kerättiin taikinaparvelta sekoitusruuvien päästä ennen kuin taikina putosi lepohihnalle. Taikinaa kerättiin näyteastiaan niin paljon, että siitä pystyi suorittamaan mittaukset sekä farinografilla että rakenneanalysaattorilla. Laboratoriossa taikinasta mitattiin välittömästi lämpötila ja kosteusprosentti. Taikinäytettä pyrittiin käsittelemään mahdollisimman vähän ennen mittauksia, jotta käsittelyn vaikutus olisi minimoitu saaduissa tuloksissa. Tämän jälkeen kovuusmittaukset suoritettiin mahdollisimman yhtäaikaaisesti sekä farinografilla että rakenneanalysaattorilla. Mittaukset suoritettiin ripeästi, sillä taikina nousi nopeasti ja muodostuneet kaasukuplat olisivat mahdollisesti vääristäneet mittalaitteilla saatavia tuloksia.

5.5.2 Brabender farinografi

Leipomolla valmistettavien taikinoiden kiinteys, kovuus ja vaivauksenkesto tutkittiin Brabender® farinografilla (kuva 25). Farinografissa käytettävä taikinamäärä oli 450 g. Taikinäyte punnittiin lautaselle ja punnituksen aikana taikinaa vältettiin kääntelemästä ja painelemasta turhaan.



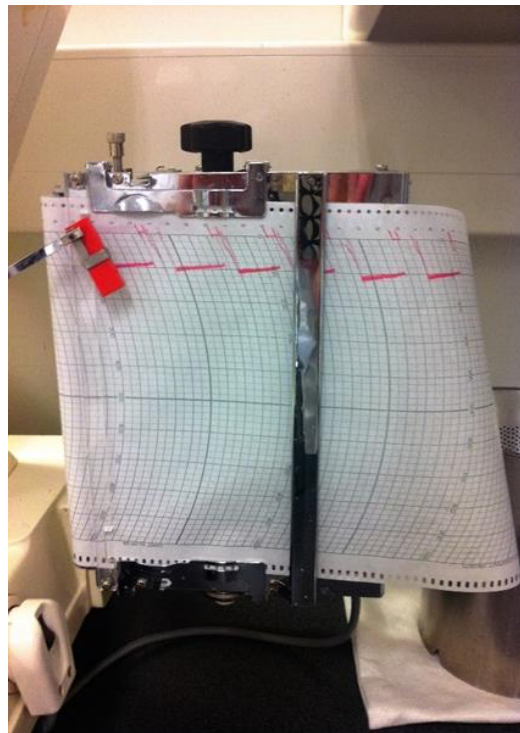
Kuva 25. Lahden leipomolla taikinoiden rakenteen analysointiin käytettävä Brabender® farinografi. Kuvassa vasemmalla lämminvesisäiliö, keskellä taikinakaukalo ja oikealla takana piirturi, josta tulokset luettiin. (Kuva: Salonen)

Punnittu taikinanäyte tiputettiin farinografin sekoituskaukaloon ja kaikki lautasella oleva taikina kaavittiin huolellisesti mukaan. Farinografin sekoituskaukalo ja sekoituslavat ovat nähtävissä kuvassa 26. Sekoituskaukalossa oli lämminvesikierrolla toimiva vaippa, joka piti taikinan lämpötilan mittauksen aikana 32 °C:ssa.



Kuva 26. Farinografin sekoituslavat ja sekoituskaukalo. (Kuva: Salonen)

Kun taikinanäyte oli saatu sekoituskaukaloon, voitiin mittaus käynnistää. Farinografin toiminta perustuu vääntömomenttiin eli taikinan sekoitusta vastustavaan voimaan. Taikinan aiheuttama sekoituslapoihin kohdistuva voima aiheutti piirturin heilumisen, jolloin muodostui farinogrammi. Kuvassa 27 on nähtävissä usean eri kovuusmittauksen farinogrammeja.

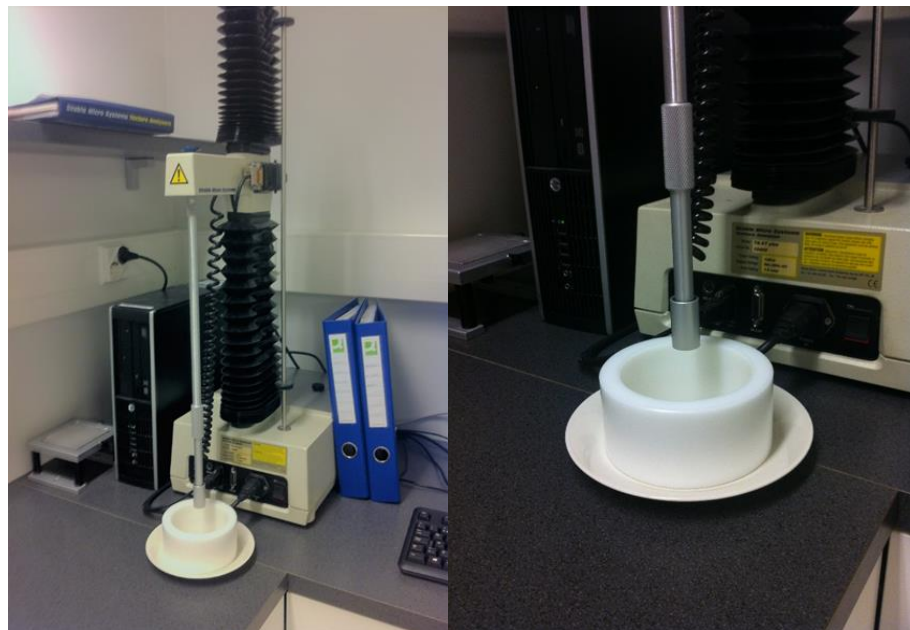


Kuva 27. Farinografin piirturi ja farinogrammeja ruistaikinoiden kovuusmittauksista. (Kuva: Salonen)

Farinografin annettiin käydä niin kauan, että sekoitus oli kestänyt vähintään neljä minuuttia. Kuluneen ajan pystyi näkemään farinogrammin pystyviivoista. Neljä minuuttia oli kulunut, kun farinogrammin käyrä oli ylittänyt viisi pystyviivaa. Farinografin mittaama taikinan kovuus luettiin farinogrammin käyrästä neljän minuutin kohdalta. Leipomolla taikinan kovuuden yksikkö merkittiin FE:nä poiketen luvussa 4.2.1 mainitusta FU:sta.

5.5.3 TA.XT Plus -rakenneanalysaattori

Uusi taikinan rakenteen mittaamenetelmä oli kehitetty TA.XT Plus -rakenneanalysaattorille. Rakenneanalysaattori, mittapää sekä taikinarengas ovat nähtävissä kuvassa 28.



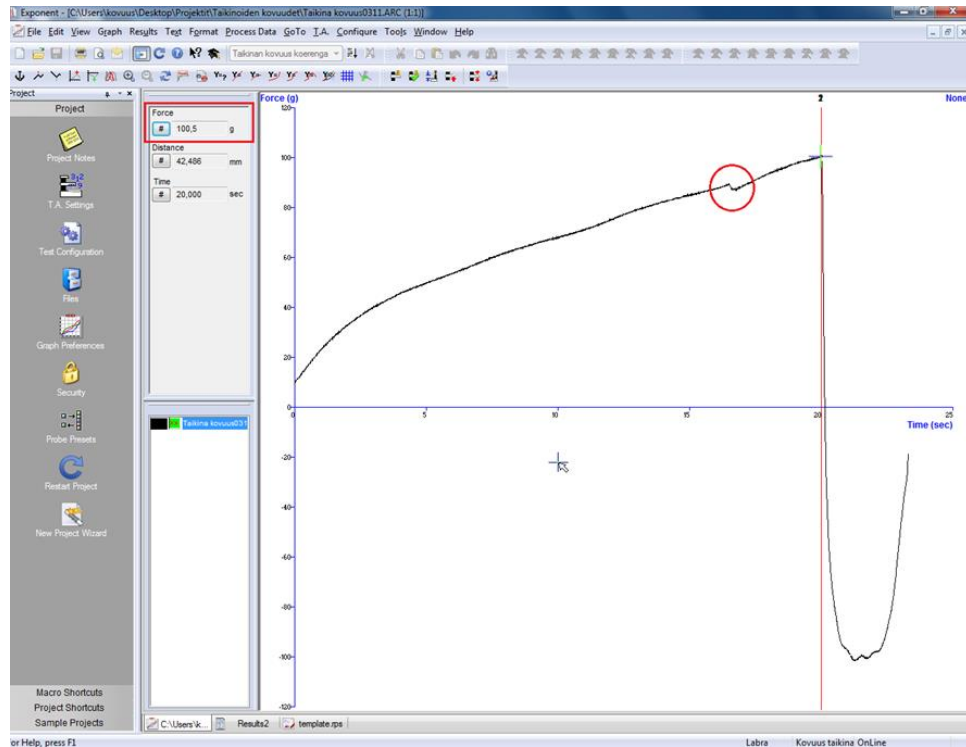
Kuva 28. Stable Micro systems TA.XT plus -rakenneanalysaattori sekä taikinarengas ja SMSP/20 sylinterianturi. (Kuva: Salonen)

Taikinan kovuusmittaus rakenneanalysaattorilla aloitettiin valmistamalla taikinanäyte taikinarenkaaseen. Taikinarengas lautasineen laitettiin vaa'alle ja taarattiin. Taikinaa tiputeltiin renkaaseen varoen taikinan liiallista käsittelemistä. Taikinaa laitettiin renkaaseen niin paljon, että se tuli renkaan reunojen yli. Lopuksi taikinan pinta vedettiin tasaiseksi raapan avulla. Renkaassa olevan taikinan massa kirjattiin ylös. Kovuusmittaus suoritettiin liitteessä 1 olevan ohjeen mukaisesti. Yhdestä taikinarenkaallisesta näytetä suoritettiin mittaukset kolmesta eri kohdasta näytetaikinaa. Mittaukset pyrittiin suorittamaan tasaisin välimatkoin edellisistä mittauspisteistä sekä renkaan reunasta. Anturi puhdistettiin jokaisen mittauksen jälkeen.

Taikinan rakenneanalysaattorimittauksesta piirtyi kuvaaja Exponent-ohjelmistoon (kuva 29, s. 37). Mittauksesta saatiin tulokseksi force (g) -arvo, joka luettiin kuvaajan vasemmassa yläkulmassa olevasta taulukosta. Rakenneanalysaattori aloitti mittaamisen, kun se osui taikinan pintaan. Taikinanäytteen pinnan tasaisuus oli tärkeää, jotta anturin pinta osui kerralla

taikinaan. Saadut kolmen eri mittauspisteen kovuustulokset kirjattiin Excel-
taulukkaan ja mittauksen tulos oli näiden kolmen mittauspisteen keskiarvo.

Kuvassa 29 on nähtävissä punaisen ympyrän sisällä notkahdus käyrässä. Laboratorio, jossa mittaukset suoritettiin, sijaitsi keskellä taikinaparvea ja taikinapatojen työntely aiheutti tärinää. Käyrässä näkyvä notkahdus johtuu taikinapadan liikuttamisesta ja on oletettavaa, että sillä on ollut vaikutusta saatuun mittaustulokseen.



Kuva 29. Exponent ohjelman piirtämä kuvaaja taikinan kovuuden mittauksesta rakenneanalysaattorilla. Vasemmassa yläkulmassa punaisen laatikon sisällä oleva arvo oli saatu force (g).

6 TULOKSET

Tilastollisen päättelyn tavoitteena on luotettavien johtopäätösten tekeminen perusjoukosta otoksen perusteella. Tilastollisen päättelyn avulla pyritään arvioimaan, kuinka hyvin otoksesta saadut tulokset voidaan yleistää perusjoukon tuloksiksi. (Holopainen & Pulkkinen 2008, 165.) Saaduista taikinoiden 1, 2 ja 3 mittaustuloksista laskettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla regressioanalyysit sekä 95 prosentin väliestimaatit. Taikinaa 1 tutkittiin kahdelta eri valmistuslinjastolta ja siitä valmistettiin myös koetaikinat tuotekehityksessä, jotka tutkittiin ennen varsinaisten mittausten aloittamista. Tässä luvussa käsitellään tilastollisen päätöksenteon perustaksi laskettuja tuloksia. Mittaustulokset löytyvät liitteistä 3–6, joiden perusteella tilastollinen laskenta on suoritettu.

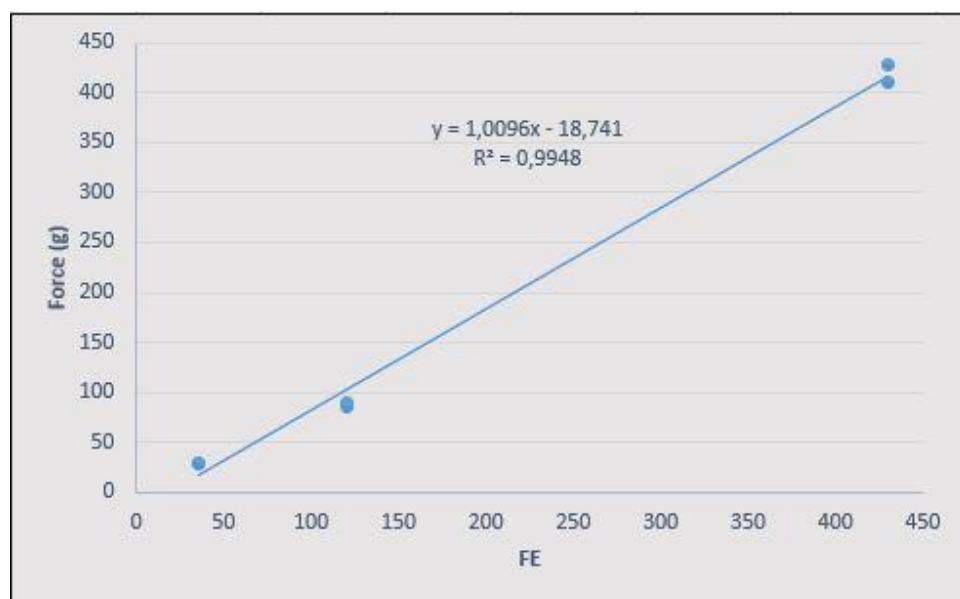
6.1 Koetaikinat

Tuotekehityksessä valmistettiin taikinan 1 reseptillä koetaikinat, joiden taikinakosteudet olivat taulukon 6 mukaiset. Koetaikinoista suoritettiin mitaukset rinnakkain rakenneanalysaattorilla ja farinografilla. Tällä haluttiin testata rakenneanalysaattorin mittausten menetelmän toimivuutta ylipäättään.

Taulukko 6. Koetaikinoiden kosteusprosentit.

Löysä	60,4 %
Normaali	54,8 %
Kova	47,6 %

Etukäteen tiedettiin, että mitä kuivempi niin sitä kovempi taikina on. Farinografiarvot kasvavat mitä kovempaa taikina on ja tällöin myös rakenneanalysaattorilla saatavien arvojen tulee nousta samassa suhteessa, jotta menetelmät olisivat vertailukelpoisia keskenään. Jokaisesta koetaikinalaadusta pystyttiin suorittaa kaksi rinnakkaista mittausta rakenneanalysaattorilla ja farinografilla. Kukin force (g) -arvo on kolmesta mittauspisteestä saatujen tulosten keskiarvo. Kuvio 3 on nähtävissä mittaustulosten sijoittuminen hajontakuviossa.



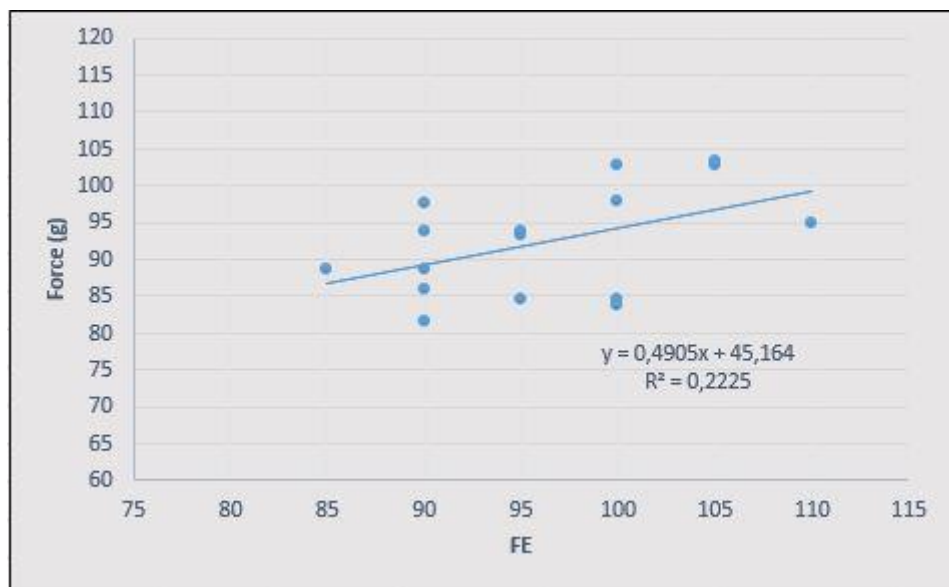
Kuvio 3. Koetaikinoiden mittaustulosten hajontakuvi. FE-arvojen kasvaessa myös force (g) -arvot kasvoivat. Selityskertoimen R^2 mukaan 99,48 prosenttia force (g) -arvojen vaihtelusta voidaan selittää FE-arvojen vaihtelulla.

Koetaikinoiden hajontakuvioista voidaan havaita, että force (g) -arvot kasvoivat, kun FE-arvot kasvoivat. Tulokset ovat sijoittuneet myös hyvin lineaarisesti. Huomioitavaa kuitenkin on, että mittauksia kullakin eri taikinalaaduilla saatiin vain kaksi, jolloin luotettavia johtopäätöksiä ei voi tehdä. Mielienkiintoista on myös se, miten suuri normaalin ja kovan taikinan välinen ero kovuustuloksissa on, vaikka taikinoiden kosteus laski melko tasaisesti. Koetaikinoiden mittaukset antoivat kuitenkin olettaa, että rakenneanalysaattorimenetelmä voisi olla toimiva ruistaikinoiden kovuusmittauksissa sekä FE- ja force (g) -arvojen välillä voi olla yhteys.

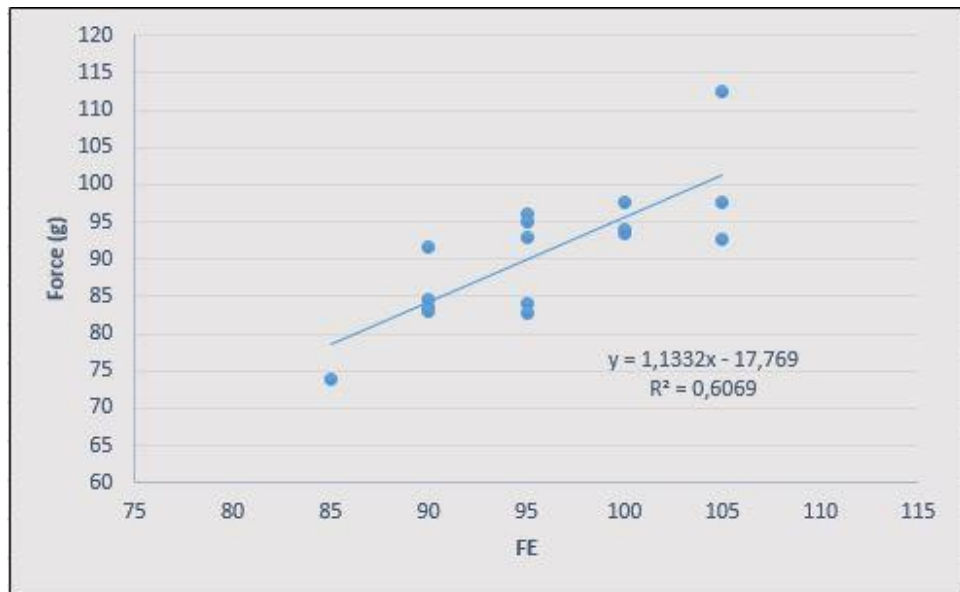
6.2 Regressioanalyysi

Muuttujien välistä yhteyttä voidaan tutkia matemaattisesti laskemalla muuttujien välinen korrelaatiokerroin (Holopainen & Pulkkinen 2008, 233). Regressioanalyysiä varten kaikista tutkituista taikinoista laadittiin korrelaatiomatriisit, joihin laskettiin kaikkien mitattujen muuttujien väliset korrelaatiokertoimet (liite 7). Matriiseissa kiinnostuksen kohteina olivat muiden muuttujien ja force (g) -arvojen väliset korrelaatiokertoimet. Taikinoista mitatuilla lämpötiloilla ja taikinarenkaassa olleilla taikinoiden massoilla ei korrelaatiokertoimen mukaan ollut juuri lainkaan yhteyttä force (g) -arvojen kanssa. Taikinoiden 2 ja 3 kosteuksien ja force (g) -arvojen väliset korrelaatiokertoimet osoittivat melko suurtakin yhteyttä, mutta linjastoilta 4 ja 7 tutkitulla taikinoilla samat korrelaatiokertoimet osoittivat taas heikkoa yhteyttä. FE- ja force (g) -arvojen väliset korrelaatiokertoimet osoittivat melko suurta yhteyttä lukuun ottamatta linjastolta 4 tutkittua taikinaa, jonka korrelaatiokerroin osoitti vain lievää yhteyttä.

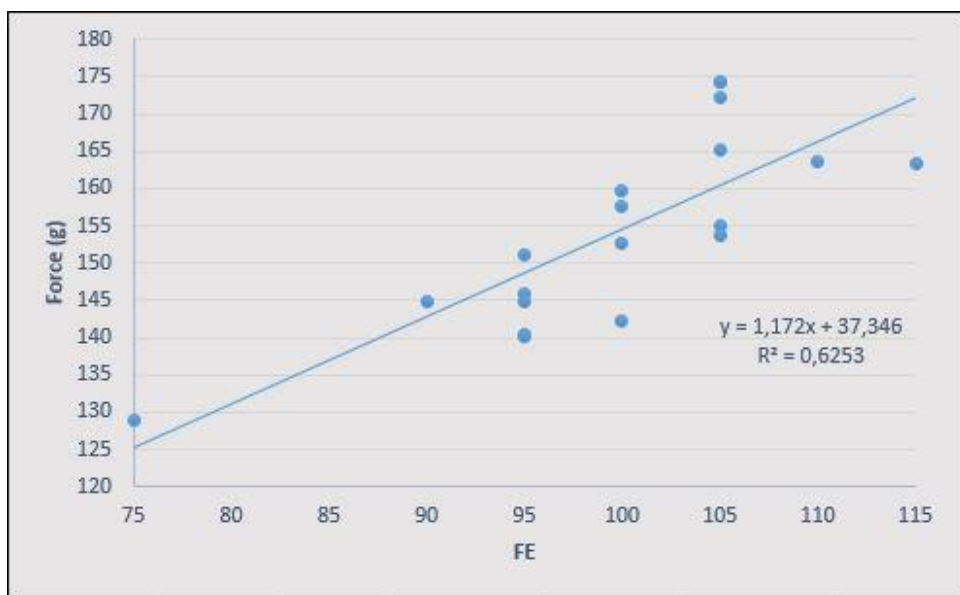
Korrelaatiomatriisien tulokinnan perusteella tuloksista päätettiin laatia regressioanalyysi, jossa tutkittiin FE- ja force (g) -arvojen välistä yhteyttä kullakin eri tutkitulla taikinalla. Kahden muuttujan eli FE:n ja force (g):n välisen yhteyden tutkiminen aloitettiin piirtämällä hajontakuviot, joista tarkasteltiin muodostavatko pisteet jollakin tavalla säännöllisen pistejoukon. Hajontakuvioista käy ilmi mahdollisen yhteyden voimakkuus, muoto ja suunta. (Holopainen & Pulkkinen 2008, 229.) Hajontakuvioihin 4, 5 ja 6 (s. 40) sekä 7 (s. 41) on lisätty regressiosuorat, suorien kaavat sekä selityskertoimet.



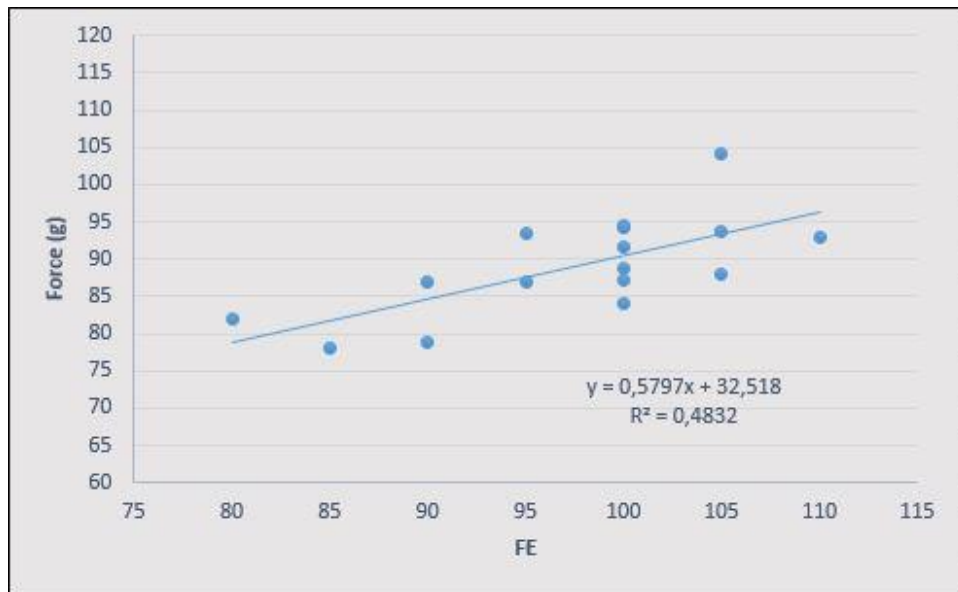
Kuvio 4. Linjalla 4 valmistetun taikinan 1 mittaustulosten hajontakuviot. Selityskertoimen R^2 mukaan 22,25 prosenttia force (g) -arvojen vaihtelusta voidaan selittää FE-arvojen vaihtelulla.



Kuvio 5. Linjalla 7 valmistetun taikinan 1 mittaustulosten hajontakuvio. Selityskertoimen R^2 mukaan 60,69 prosenttia force (g) -arvojen vaihtelusta voidaan selittää FE-arvojen vaihtelulla.



Kuvio 6. Linjalla 6 valmistetun taikinan 2 mittaustulosten hajontakuvio. Selityskertoimen R^2 mukaan 62,53 prosenttia force (g) -arvojen vaihtelusta voidaan selittää FE-arvojen vaihtelulla. Kuviossa huomioitavaa, että force (g) -asteikko alkaa vasta 120 grammasta.



Kuvio 7. Linjalla 9 valmistetun taikinan 3 mittaustulosten hajontakuviota. Selityskertoimen R^2 mukaan 48,32 prosenttia force (g) -arvojen vaihtelusta voidaan selittää FE-arvojen vaihtelulla.

Kustakin hajontakuviosta on havaittavissa, että muuttujien välillä on lievää positiivista yhteyttä. Osittain force (g) -arvot kasvavat, kun FE-arvot kasvavat, mutta hajontaa ilmenee. Etenkin linjoilla 7 ja 6 valmistettujen taikinoiden FE- ja force (g) -arvot saavat melko jyrkätkin lineaariset yhteydet.

FE- ja force (g) -arvojen väliset korrelaatiokertoimet ovat nähtävissä taulukosta 7. Korrelaatiokerroin on herkkä poikkeaville arvoille, joten etenkin pienissä aineistoissa yksikin selvästi poikkeava arvo vaikuttaa suuresti korrelaatiokertoimen arvoon (Holopainen & Pulkkinen 2008, 234).

Taulukko 7. FE- ja force (g) -arvojen väliset korrelaatiokertoimet.

	Korrelaatiokerroin	Otoskoko (n)
Taikina 1, L4	0,472	16
Taikina 1, L7	0,779	16
Taikina 2, L6	0,791	19
Taikina 3, L9	0,695	16

Mitattujen taikinoiden korrelaatiokertoimet eivät anna yhtenäistä kuvaa muuttujien välisen yhteyden suuruudesta. Linjoilta 7 ja 6 tutkittujen taikinoiden kertoimet osoittavat jo melko suurta muuttujien välistä yhteyttä, ja hyvä yhteys on havaittavissa myös linjan 9 taikinalla. Linjalta 4 tutkitun taikinan korrelaatiokerroin jää muihin verrattuna melko pieneksi, mutta yhteys on siltäkin havaittavissa. Saatua tulos on kuitenkin vielä testattava, ettei se ole vain sattuman aiheuttama vaan osoittaa selkeästi muuttujien välisen yhteyden olemassaolon. Tätä varten korrelaatiokertoimen arvo testataan vertaamalla sitä Pearsonin korrelaatiokertoimen kriittiseen arvoon (taulukko 8, s. 42).

Taulukko 8. Pearsonin korrelaatiokertoimen kriittisiä arvoja kaksisuuntaisessa testissä (Holopainen & Pulkkinen 2008, 354)

Otoskoko	10 %	5 %	2 %	1 %	0,1 %
16	0,426	0,497	0,574	0,623	0,742
19	0,389	0,456	0,529	0,575	0,693

Rakenneanalysaattorin ja farinografin antamien arvojen väliset merkitsevyydet kullakin eri taikinalla olivat taulukon 9 mukaiset.

Taulukko 9. FE- ja force (g) -arvojen välisten korrelaatioiden merkitsevyys.

Taikina 1, L4	P < 0,1
Taikina 1, L7	P < 0,001
Taikina 2, L6	P < 0,001
Taikina 3, L9	P < 0,01

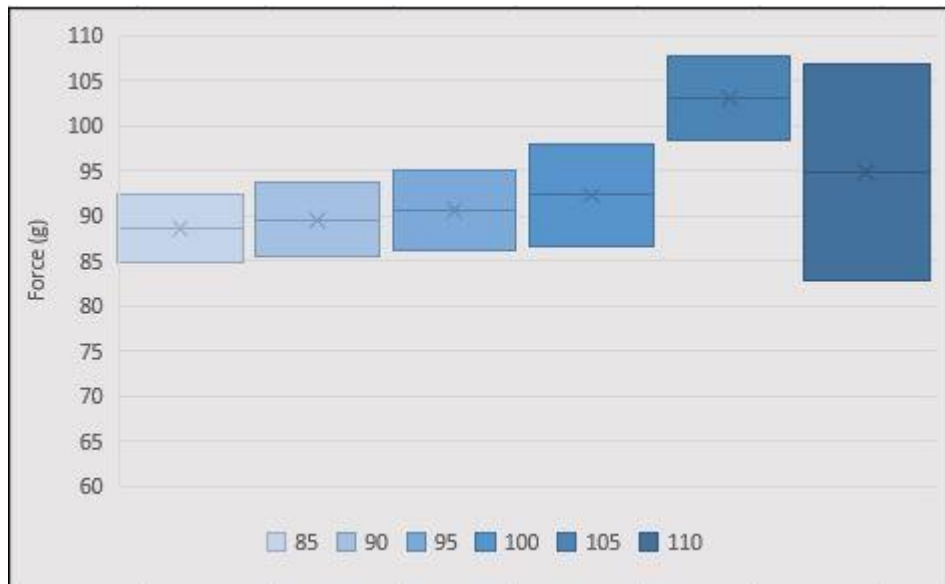
Taulukosta 9 nähdään, että ainakin linjoilla 7 ja 6 valmistettujen taikinoiden FE- ja force (g) -arvoilla on tilastollisesti erittäin merkitsevät riippuvuudet ja linjalla 9 valmistetulla taikinalla muuttujien riippuvuus on tilastollisesti merkitsevä. Linjalta 4 tutkitun taikinan arvojen riippuvuus on ainoastaan suuntaa antava.

6.3 Väliestimointi

Estimoitaessa perusjoukon parametreja laskettiin saatujen force (g) -arvojen piste-estimaatit kullakin FE-arvolla, jonka jälkeen muodostettiin 95 prosentin väliestimaatit. Väliestimaattiin liittyviä rajoja sanotaan luottamusrajoiksi ja niiden määrittämää väliä luottamusväliksi. Luottamusväli on piste-estimaatti \pm virhemarginaali. (Holopainen & Pulkkinen 2008, 166, 168.) Väliestimaattien luottamusvälien laskennassa käytettiin studentin T-jakaumaa, sillä otoskoot olivat alle 30. Väliestimaatti siis kertoo kuinka suurelle alueelle saadut force (g) -arvot kullakin FE-arvolla sijoittuivat. Tulokista lasketut väliestimaatit löytyvät liitteestä 8.

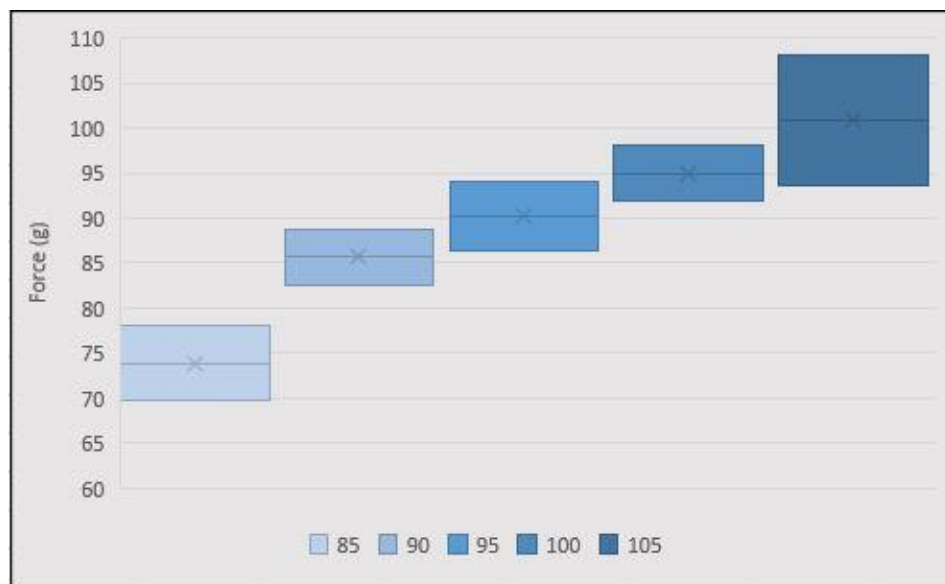
Tavoitellut farinografin FE-raja-arvot olivat 1. taikinalla 95–105 FE, 2. taikinalla 90–100 FE ja 3. taikinalla 105–125 FE. Pääasiassa suurimmat force (g) -arvojen otoskoot saatiin toivotuilla FE-raja-arvoilla. Etenkin tavoiteltavia FE-arvoja huomattavasti suuremmilla tai pienemmillä FE-arvoilla saatujen force (g) -arvojen otoskoot jäivät hyvin pieniksi.

Kuvioissa 8 ja 9 (s. 43) on nähtävissä 95 prosentin väliestimaatit taikinasta 1 valmistuslinjoilta 4 ja 7. Kuviossa 10 (s. 44) on linjalta 6 tutkitun taikinan 2 väliestimaatit ja kuviossa 11 (s. 44) linjalta 9 tutkitun taikinan 3 väliestimaatit. Vasemmalla olevista sarakkeista on luettavissa rakenneanalysaattorilla saadut force (g) -arvot. Jokainen sininen palkki edustaa yhtä FE-arvoa, jotka on selitetty kuvion alareunassa. Palkin korkeus edustaa väliä, jolle kullakin FE-arvolla saadut force (g) -arvot sijoittuvat 95 prosentin todennäköisyydellä.



Kuvio 8. 95 prosentin väliestimaatit linjastolla 4 valmistetusta taikinasta 1. Kukin väri edustaa yhtä FE-arvoa, jotka on selitetty kuvion alareunassa. Palkkien korkeus kuvastaa force (g) -arvojen hajontaa kullakin eri FE-arvolla.

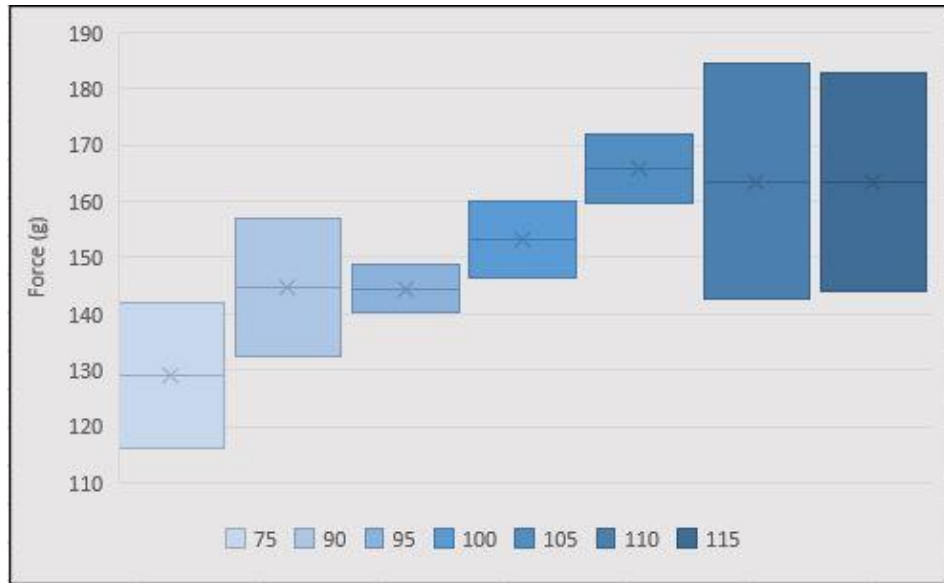
Kuviosta 8 voidaan havaita, että eri FE-arvoilla saadut force (g) -arvot sijoittuivat hyvin paljon päällekkäin. Saadut force (g) -arvot pysyttelivät siis melko samoissa lukemissa, vaikka FE-arvot vaihtelivat. FE-arvoilla 90, 95 ja 100 force (g) -arvojen otoskoot olivat suurimmat, mutta se ei näy erona verrattuna muihin väliestimaatteihin.



Kuvio 9. 95 prosentin väliestimaatit linjastolla 7 valmistetusta taikinasta 1. Kukin väri edustaa yhtä FE-arvoa, jotka on selitetty kuvion alareunassa. Palkkien korkeus kuvastaa force (g) -arvojen hajontaa kullakin eri FE-arvolla.

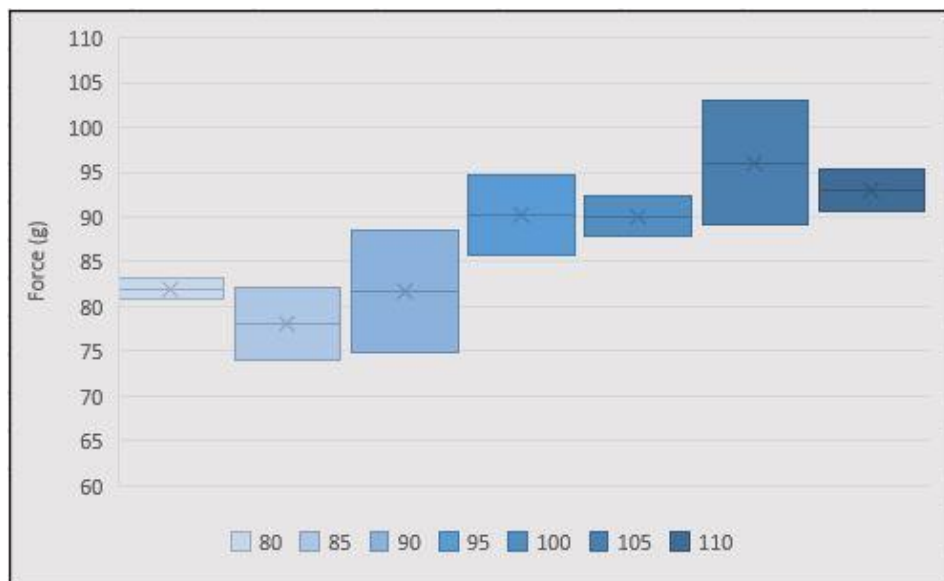
Kuvioista 9 on nähtävissä, että eri linjastoilta kerättyjen taikina 1 näytteiden väliestimaatit poikkeavat toisistaan huomattavasti. Linjastolta 7 kerättyjen näytteiden force (g) -arvot saivat pienemmät ja tasaisemmin jakautuneet luottamusvälit, kun taas linjastolla 4 force (g) -arvot ovat suurelta osin päällekkäin. Linjalla 7 ainoastaan FE-arvolla 85 force (g) -arvojen otoskoko jäi

hyvin pieneksi, mikä selvästi erottuukin muista tasaisesti nousevista väliestimaateista.



Kuvio 10. 95 prosentin väliestimaatit linjastolla 6 valmistetusta taikinasta 2. Kukin väri edustaa yhtä FE-arvoa, jotka on selitetty kuvion alareunassa. Palkkien korkeus kuvastaa force (g) -arvojen hajontaa kullakin eri FE-arvolla. Kuviossa huomioitavaa on, että force (g) -asteikko alkaa vasta 110 grammasta.

Linjastolla 6 valmistettu taikina 2 antoi kuvion 10 mukaiset väliestimaatit 95 prosentin todennäköisyydellä. Huomioitavaa on, että taikina 2 sai huomattavasti korkeammat force (g) -arvot, vaikka saadut FE-arvot pysyttelivät samoissa rajoissa muiden taikinoiden kanssa. Kuvioista on myös hyvin havaittavissa miten suurempi otoskoko FE-arvoilla 95, 100 ja 105 kaventaa saatuja väliestimaatteja.



Kuvio 11. 95 prosentin väliestimaatit linjastolla 9 valmistetusta taikinasta 3. Kukin väri edustaa yhtä FE-arvoa, jotka on selitetty kuvion alareunassa. Palkkien korkeus kuvastaa force (g) -arvojen hajontaa kullakin eri FE-arvolla.

Linjastolla 9 valmistettu taikina 3 sai kuvion 11 mukaiset 95 prosentin väliestimaatit kullakin FE-arvolla. Huomattavasti suurin force (g) -arvojen otoskoko saatiin FE-arvolla 100 ja muilla FE-arvoilla saadut otoskoot olivat yli puolet pienempiä. Siispä väliestimaatit ovat suurelta osin päällekkäin ja niiden laajuudessa on suuria eroja.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Ruistaikinat ovat kosteita sekä tarttuvia, eikä niissä ole vehnätaikinoille ominaista venyvää sitkoverkostoa. Siispä rukiista valmistetut taikinat ovat helposti muovailtavissa. Edellä mainituista syistä johtuen ruistaikinoiden käsittely niin käsin kuin koneellisesti on kuitenkin hankalaa, sillä taikina tarttuu ja katkeaa helposti. Taikinoiden reologian tutkiminen leivontaprosessin aikana on tärkeää, jotta valmistettava tuote vastaisi vaatimuksia. Reologisten ominaisuuksien mittaaminen on kuitenkin haastavaa, sillä taikinan ainesosat muokkaavat sen reologiaa jatkuvasti. Vaikkakin taikinoiden reologian tutkimiseksi on kehitetty useita eri menetelmiä ja laitteita, ovat nämä kaikki kehitetty vehnätaikinoille. Koska ruistaikinoilta puuttuu vehnätaikinoille ominainen ja tärkeä viskoelastinen sitkoverkosto, eivät mitausmenetelmät juurikaan sovellu ruistaikinoiden tutkimiseen.

Lahden leipomolla ruistaikinoiden rakenteen analysoimiseksi käytetään farinografia. Rakenneanalysaattorille kehitetty ruistaikinoiden rakenteenmittausmenetelmä eroaa suuresti farinografian toimintaperiaatteesta, sillä laitteet mittaavat taikinasta käytännössä täysin eri ominaisuutta. Farinografi sekoittaa taikinaa ja tallentaa sekoitusta vastustavan voiman farinogrammiksi. Farinogrammia tulkitaan ja vastustavan voiman suuruus FE luetaan yhdestä kohdasta piirtynyttä käyrää. Rakenneanalysaattorimenetelmässä mitta-anturi painautuu taikinanäytteeseen määrätyn matkan ja tallentaa painautumiseen tarvittun voiman grammoina tietokoneohjelmistoon. Näiden kahden analyysimenetelmän tai niiden antamien mittaustulosten vertaaminen keskenään on käytännössä mahdotonta, sillä menetelmien muokkaavat voimat ja muodonmuutoksen määrät ovat epäyhtenäisiä. Samoin menetelmissä näytteet ovat eri kokoisia ja mittaolosuhteet eroavat. Lisäksi farinogrammin yksikkö FE ei ole verrattavissa mihinkään muuhun mittayksikköön.

Farinografi- ja rakenneanalysaattorimenetelmiä päätettiin kuitenkin vertailla tutkimuksessa rinnakkain, sillä tavoitteena oli selvittää rakenneanalysaattorimenetelmän toimivuus, luotettavuus ja toistettavuus. Lisäksi toivottiin löydettävän force (g) -arvoille raja-arvot, jotka vastaisivat FE-arvoja. Tutkimustuloksista suoritetuissa tilastollisista päätelmistä voidaan todeta, että regressioanalyysissä FE- ja force (g) -arvoille löydettiin jonkin asteinen positiivinen yhteys. Käytännössä force (g) -arvot suurenivat, kun FE-arvot suurenivat, mutta mittaustuloksissa oli myös paljon hajontaa. Linjojen 7 ja 6 FE- ja force (g) -arvot korreloivat vahvan positiivisesti toisiaan ($P < 0,001$), linjalla 9 korrelaatio oli positiivista ($P < 0,01$) ja linjalla 4 korrelaatio oli vain lievästi positiivista ($P < 0,10$). Regressioanalyysin tulokset linjoilta 4 ja 7 olivat mielenkiintoiset, sillä linjoilta 4 ja 7 tutkitut taikinat olivat valmistettu samalla reseptillä. Tulokseen on voinut vaikuttaa se, että linjan 4 taikinalle mittaukset on suoritettu tutkimuksen alkuvaiheessa, jolloin näytteen val-

mistaminen ja mittausten suorittaminen ei välttämättä ollut vielä täysin ruutinoitunutta. Tällöin taikinanäytteitä on voitu käsitellä eri tavoin eri mittauskerroilla.

Saaduille mittaustuloksille suoritettiin myös väliestimoinnit FE-arvoja vastaavien force (g) -raja-arvojen löytymiseksi. 95 prosentin todennäköisyydellä force (g) -arvojen väliestimaateissa oli suuria vaihteluita kullakin eri FE-arvolla riippumatta tutkittavasta taikinasta. Koska force (g) -arvojen luottamusvälit olivat suurelta osin päällekkäin, tuloksista ei voitu luotettavasti päätellä raja-arvoja, jotka vastaisivat FE-arvoja. Tuloksia analysoidessa kuitenkin havaittiin, että mitä suurempi otoskoko force (g) -arvoja jollakin FE-arvolla oli, niin sitä pienempi luottamusväli saatiin. Laajojen luottamusvälien vuoksi tutkimuksen otoskokoa tulisi kasvattaa eli kullakin eri FE-arvolla tulisi saada vähintään 30 kappaleen otos force (g) -arvoja. Otoksoon kasvattaminen ei kuitenkaan paranna huonoa otosta, joka voi johtua huonosta otantamenetelmästä (Taanila 2013).

Tilastollisten analyysien perusteella voidaan päätellä, että ruistaikinoiden rakenteen mittausmenetelmät rakenneanalysaattorilla ja farinografilla korreloivat ainakin jollain tasolla keskenään. Rakenneanalysaattorilla kovuusmittauksissa esiintyi kuitenkin epävarmuutta ja suurta vaihtelua. Suoritettujen väliestimoinnin tulosten perusteella ei voitu tarkkaan määrittää force (g) -arvoja, jotka vastaisivat FE-arvoja. Tutkimuksen jatkaminen pidemmälle pitämällä molempia analyysijä rinnakkain tuotannon seurannassa mahdollistaa laajemman tulosaineiston keräämisen. Suuremmalla aineistolla saadaan varmempi tilastollinen riippuvuus, mutta se ei poista rakenneanalysaattorin mittausmenetelmän epävarmuutta.

Rakenneanalysaattorin mittausmenetelmää ja sen luotettavaa toistettavuutta tulee parantaa. Todennäköisin ongelma mittauksessa on näytteen valmistaminen. Taikinan laittaminen mittausrenkaaseen on vaikeaa ja näytettä joutuu väistämättä painelemaan ja muokkaamaan. Tällöin jokaista näytettä on käsitelty, toisia enemmän, toisia taas vähemmän. Tämä saattaa olla syynä suureen mittaustulosten vaihtelevuuteen. Muita parannuksia menetelmään olisi rakenneanalysaattorin siirtäminen sellaiseen paikkaan, jossa taikinapatojen työntely ei täryttäisi alustaa. Tähän ratkaisuna voisi olla myös graaniittinen punnituspöytä, joka vaimentaa tärinää. Lisäksi taikinanäytteen vakioiminen, esimerkiksi jääkaapissa tiettyyn lämpötilaan, voisi mahdollistaa näytteiden yhtenevyyden jokaisella mittauksella.

Taikinoiden rakenteen analysointi rakenneanalysaattorilla päivittäisessä laadunvalvonnassa säästäisi aikaa, sillä itse mittausten suorittaminen on yksinkertaista ja laitteen puhdistaminen mittausten välillä helppoa verrattuna farinografiin. Näytteen valmistaminen on kuitenkin paljon käsityötä vaativaa ja vaatii opettelua. Koska rakenneanalysaattoria käytetään Oulun leipomolla ruistaikinoiden rakenteen analysoimiseksi, on luotettavan ja toistettavan mittausmenetelmän luominen laitteelle mahdollista.

LÄHTEET

Auvinen, S. 1990. Minun leipäni. Helsinki: Leipomopalvelu Sulo & Vuokko Oy.

Beck, M. Jekle, M. Selmair, P.L. Koehler, P. & Becker, T. 2011. Rheological properties and baking performance of rye dough as affected by transglutaminase. *Journal of Cereal Science*. 54 (1), 29–36. Viitattu 21.2.2016. Saatavissa ScienceDirect tietokannassa:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521011000336>

Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity: Concept and measurement. 2.p. New York: Academic Press. Viitattu 8.4.2016. Saatavissa Ebrary-tietokannassa:
<http://site.ebrary.com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk/reader.action?docID=10186461>

Bushuk, W. 2004. Rye. Teoksessa Wrigley, C. Corke, H. & Walker C.E. (toim.) *Encyclopedia of grain science*. Volume one. Oxford: Elsevier Ltd, 85–91.

Causgrove, P. 2004. Wheat and Flour testing methods. A Guide to Understanding Wheat and flour quality. Portland: Wheat Marketing Center, Inc. Viitattu 9.5.2016.
<http://www.nebraskawheat.com/wp-content/uploads/2014/01/WheatFlour-TestingMethods.pdf>

Cigi & Goodman, E. 2014. A faster start. Country Guide. Viitattu 6.5.2016.
<http://www.country-guide.ca/2014/07/09/a-faster-start/44269/>

Dobraszczyk, B.J. 2004. Dough Rheology. Teoksessa Wrigley, C. Corke, H. & Walker C.E. (toim.) *Encyclopedia of Grain Science*. Vol.3. Oxford: Elsevier Ltd. 400–415.

Döring, C. Nuber, C. Stukenborg, F. Jekle, M. & Becker, T. 2014. Impact of arabinoxylan addition on protein microstructure formation in wheat and rye dough. *Journal of Food Engineering*. 154, 10–16. Viitattu 8.4.2016. Saatavissa ScienceDirect tietokannassa:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877414005482>

Edwards, W.P. 2007. The science of bakery products. Cambridge: The royal society of chemistry.

Elintarvikelaki nro 23/2006. 13.1.2006.

Evira. 2016. Kasvit. Viljely ja tuotanto. Viljan laatu. Laatutekijät. Sakoluku. Viitattu 9.5.2016.
<http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/viljan+laatu/laatutekijat/sakoluku>

Faridi, H. & Faubion J.M. 1990. Dough Rheology and Baked Product Texture. New York: Van Nostrand Reinhold.

Fazer Group. n.d.a. Tietoa meistä. Tuotteet & palvelut. Viitattu 9.5.2016.
<http://www.fazergroup.com/fi/tietoa-meista/tuotteet--palvelut/>

Fazer Group. n.d.b. Yrityksille. Fazer mylly. Viljan osto. Sopimusviljely. Viitattu 8.4.2016.
<http://www.fazergroup.com/fi/yrityksille/fazer-mylly/viljan-osto/sopimus-viljely/>

Fazer Group. n.d.c. Yrityksille. Fazer mylly. Viljan osto. Laatuvaatimukset ja hinnoitteluperusteet. Laatuvaatimukset 18.2.2016. pdf. Viitattu 8.4.2016.
<http://www.fazergroup.com/fi/yrityksille/fazer-mylly/viljan-osto/laatuvaatimukset-ja-hinnoitteluperusteet/>

Flourplus. n.d. Podcasts. Episode 2: Flour analysis in work package 2. Viitattu 6.5.2016.
<http://www.flourplus.eu/podcasts/18-episode-2-flour-analysis-in-work-package-2>

Girhammar, U. & Baboo, M. 1995. Rheological properties of water soluble non-starch polysaccharides from whole grain rye flour. Food Hydrocolloids. 9 (2), 133–140. Viitattu 9.4.2016. Saatavissa ScienceDirect tietokannassa:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X09802750?np=y>

HGCA. n.d. Chopin Alveograph Guide. Viitattu 6.5.2016.
<http://cereals.ahdb.org.uk/media/804812/Chopin-Alveograph-Info-sheet-low-res.pdf>

Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2008. Tilastolliset menetelmät. 5.-6.p. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Häggman, M. 2010. Leipomo- ja myllytuotteet. Teoksessa Saarela, A-M. Hyvönen, P. Määttä, S. & von Wright, A. (toim.) Elintarvikeprosessit. 3. uud. p. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, 123–137.

Katina, K. 2005. Sourdough: a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread. VTT Publications 569. Espoo: Otamedia Oy. Viitattu 1.4.2016.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P569.pdf>

Leipätiedotus ry. n.d. Tietoa leivästä. Viljat ja viljalajit. Kotimaiset viljat. Ruis (Secale cereale). Viitattu 7.4.2016.
http://www.leipätiedotus.fi/tietoa_leivasta/vilja_ja_viljalajit/kotimaiset_viljat/ruis

Mekab Sales. n.d. Service. Instructions for assemblage and use of the SJA Fermentograph Type JM 451. Directions for use of the Fermentograph. Viitattu 5.5.2016.

<http://mekab-sales.com/service.html>

Päijät-Hämeen Viljaklusteri. n.d. Klusteri. Klusteriyritykset. Fazer Leipomot, Lahden leipomo. Viitattu 9.5.2016.

http://www.viljaklusteri.fi/klusteri/klusteriyritykset/fazer_leipomot_lahden_leipomo

RealAgriculture News Team. 2015. Wheat School: 28 New Wheat Varieties Recommended for Registration With Customer Requirements Top of Mind. Real Agriculture. Viitattu 6.5.2016.

<https://www.realagriculture.com/2015/03/wheat-school-28-new-wheat-varieties-recommended-for-registration-with-customer-requirements-top-of-mind/>

Salmenkallio-Marttila, M. & Hovinen, S. 2004. Ravintokuitukomponenttien, α -amylaasi- ja ksylanaasiaktiivisuuden sekä jauho-vesisuspension viskoelastisten ominaisuuksien vaihtelu rukiissa. Teoksessa Hovinen, S. Tanhuanpää, P. Pahkala, K. Salmenkallio-Marttila, M. Hietaniemi, V. Rytä, E. & Koskenoja, R. (toim.) Rukiin jalostuksen ja viljelyn tehostaminen pohjoisilla viljelyalueilla. Jokioinen: MTT, 163–175.

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/456073/met48.pdf?sequence=1>

Salo, Y. 2007. Luonnonvarakeskus. Uutiset. Sakolukupalvelu toimintaan puintikauden kynnyksellä. Viitattu 5.5.2016.

<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/ajankohtaista/Uutiskisto/2007/Sakolukupalvelu%20toimintaan%20puintikauden%20kynnyksella%20C3%A4>

Salo, Y. Kontturi, M. Talvitie, H. & Kartio, M. 1988. Vehnälajikkeiden leivontalaatu virallisissa lajikekokeissa 1988–1994. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Viitattu 9.5.2016.

<http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja32.pdf>

Santala, O. 2011. Entsyymireaktioiden hallinta rajoitetussa vesipitoisuudessa. Seminaariesitys. Viitattu 3.12.2015

<http://www.raisio.com/documents/506963/da946047-bf6d-4310-b084-fa3b9b541063>

Serna-Saldivar, S.O. 2010. Cereal Grains. Properties, processing, and nutritional attributes. Boca Raton: Taylor and Francis group.

Smewing, J. 2014a. Texture Analysis in action: Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig. Texture Analysis Professionals Blog -blogi. Viitattu 11.4.2016.

<http://textureanalysisprofessionals.blogspot.fi/2014/12/texture-analysis-in-action-kieffer.html>

Smewing, J. 2014b. Texture Analysis in action: The Dough Preparation Set. Texture Analysis Professionals Blog -blogi. Viitattu 11.4.2016.
<http://textureanalysisprofessionals.blogspot.fi/2014/10/texture-analysis-in-action-dough.html>

Smewing, J. 2015a. Texture Analysis in action: the SMS/Chen-Hoseney Dough Stickiness Rig. Texture Analysis Professionals Blog -blogi. Viitattu 11.4.2016.
<http://textureanalysisprofessionals.blogspot.fi/2015/02/texture-analysis-in-action-smschen.html>

Smewing, J. 2015b. Texture Analysis in Action: the Dobrascycyk-Roberts Dough Inflation System. Texture Analysis Professionals Blog -blogi. Viitattu 11.4.2016.
<http://textureanalysisprofessionals.blogspot.fi/2015/07/texture-analysis-in-action-dobrascycyk.html>

Stable Micro Systems. n.d.a. TA.XT plus Texture Analyzer. Viitattu 11.4.2016.
<http://www.stablemicrosystems.com/frameset.htm?http://www.stable-microsystems.com/TAXTplus.htm>

Stable Micro Systems. n.d.b. Bakery Product Testing Attachments. Viitattu 11.4.2016.
<http://www.stablemicrosystems.com/frameset.htm?http://www.stable-microsystems.com/BakeryProductTestingAttachments.htm>

Stable Micro Systems. n.d.c. The Texture Analysis Application Directory. Food Products. Issue 1. pdf.

Stable Micro systems n.d.d. Featured Customer Applications. Adm milling – Testing texture for technological milling. Viitattu 11.4.2016.
<http://www.stablemicrosystems.com/frameset.htm?http://www.stable-microsystems.com/caseadm.htm>

Stable Micro Systems. n.d.e. Dobrasczyk/Roberts Dough Inflation System. Measuring Pressure & Volume. Viitattu 11.4.2016.
<http://www.stablemicrosystems.com/frameset.htm?http://www.stable-microsystems.com/DoughInflationSystem.htm>

Suutarinen, E. 23.12.2015. Laadunvalvonta. Vastaanottaja Lotta Salonen. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 5.5.2016.

Taani, A. 2013. Otsikko. Akin menetelmäblogi -blogi. Julkaistu 21.10.2013. Viitattu 10.4.2016.
<https://tilastoapu.wordpress.com/2012/03/01/otsikko/>

Winopal, R-A. Drobny, L. & Schneider-Häder, B. 2015. Instrumental sensory testing in the food industry. Part 2: Mechanical texture analysis of foods. DLG-Expert report 3/2015. Frankfurt: DLG e.V.
http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/food/Expertenwissen/e_2015_3_Expertenwissen.pdf

HAASTATTELUT

Näveri, K. 2015. Tuotekehittäjä. Fazer. Haastattelu 2.3.2015.

TYÖOHJE KOVUUSMITTAUKSIIN RAKENNEANALYSAATTORILLA

Liite on salainen.

KOVUUSMITTAUSTEN TULOSTAULUKKO

[illegible]

LINJA 4, TAIKINA 1, TULOSTAULUKKO

PVM	Mittaus NRO	Taikina	°C	kost.%	FE	Massa (g) renkaassa	Force1	Force2	Force3	Force keskiarvo	Force min	Force max	Force max- min	HUOM
22.4.2015	1	T1, 4L	30,6	54,1	105	390,0	99,6	102,0	108,1	103,2	99,6	108,1	8,5	force 1:ssä tärinää
	2	T1, 4L	31,0	54,0	100	389,6	98,2	100,3	95,2	97,9	95,2	100,3	5,1	
	3	T1, 4L	31,0	54,2	100	390,7	102,2	103,7	102,7	102,9	102,2	103,7	1,5	
24.4.2015	4	T1, 4L	30,8	54,0	105	382,0	97,6	102,2	108,3	102,7	97,6	108,3	10,7	
	5	T1, 4L	30,9	54,9	100	378,9	84,6	86,9	82,5	84,7	82,5	86,9	4,4	
	6	T1, 4L	31,1	54,4	90	390,8	91,2	95,9	94,3	93,8	91,2	95,9	4,7	
	7	T1, 4L	30,7	54,5	90	393,0	86,8	83,0	88,2	86,0	83,0	88,2	5,2	
	8	T1, 4L	31,0	54,7	90	391,0	79,5	79,2	86,1	81,6	79,2	86,1	6,9	
29.4.2015	9	T1, 4L	31,5	54,4	95	389,9	81,6	86,3	85,9	84,6	81,6	86,3	4,7	
	10	T1, 4L	31,6	54,0	90	387,8	82,7	91,6	91,9	88,7	82,7	91,9	9,2	
	11	T1, 4L	31,5	54,2	90	393,4	86,8	105,4	100,5	97,6	86,8	105,4	18,6	
15.5.2015	12	T1, 4L	32,0	53,9	85	386,6	86,8	89,6	89,2	88,5	86,8	89,6	2,8	
25.5.2015	13	T1, 4L	31,1	54,4	100	387,8	82,5	87,4	81,1	83,7	81,1	87,4	6,3	
27.5.2015	14	T1, 4L	31,1	53,5	110	383,5	91,1	93,1	100,2	94,8	91,1	100,2	9,1	
	15	T1, 4L	31,1	53,6	95	394,4	92,7	91,3	96,1	93,4	91,3	96,1	4,8	
28.5.2015	16	T1, 4L	31,1	53,2	95	390	88,2	93,0	100,5	93,9	88,2	100,5	12,3	

LINJA 7, TAIKINA 1, TULOSTAULUKKO

PVM	Mittaus NRO	Taikina	°C	kost. %	FE	Massa (g) renkaassa	Force1	Force2	Force3	Force keskiarvo	Force min	Force max	Force max-min	HUOM
18.5.2015	1	T1, 7L	31,5	54,6	105	387,2	89,2	93,2	95,5	92,6	89,2	95,5	6,3	
	2	T1, 7L	31,5	54,4	95	386,1	76,2	86,1	90,2	84,2	76,2	90,2	14,0	
	3	T1, 7L	31,5	54,5	95	389,5	95,2	94,0	99,3	96,2	94,0	99,3	5,3	
	4	T1, 7L	31,1	54,7	90	391,5	80,4	82,6	87,3	83,4	80,4	87,3	6,9	
	5	T1, 7L	31,1	54,8	85	389,4	73,6	72,4	75,7	73,9	72,4	75,7	3,3	
	6	T1, 7L	31,5	54,5	90	392,1	89,1	92,5	93,5	91,7	89,1	93,5	4,4	
19.5.2015	7	T1, 7L	32,3	54,4	105	390,4	117,6	110,4	109,7	112,6	109,7	117,6	7,9	
	8	T1, 7L	32,4	54,1	100	386,4	91,8	91,7	97,0	93,5	91,7	97,0	5,3	
	9	T1, 7L	32,0	54,7	90	391,0	79,9	78,7	90,3	83,0	78,7	90,3	11,6	
	10	T1, 7L	32,0	54,5	95	390,8	91,4	96,9	96,4	94,9	91,4	96,9	5,5	
21.5.2015	11	T1, 7L	32,0	54,7	95	390,5	90,2	92,4	96,4	93,0	90,2	96,4	6,2	
22.5.2015	12	T1, 7L	31,3	54,6	105	391,9	96,9	97,9	97,7	97,5	96,9	97,9	1,0	
25.5.2015	13	T1, 7L	32,3	53,7	90	391,0	84,5	84,1	85,0	84,5	84,1	85,0	0,9	
27.5.2015	14	T1, 7L	32,9	53,8	100	390,9	95,7	99,8	97,3	97,6	95,7	99,8	4,1	
28.5.2015	15	T1, 7L	31,5	54,7	95	397,3	77,3	84,1	86,6	82,7	77,3	86,6	9,3	
	16	T1, 7L	32,0	53,5	100	388,4	88,2	93,0	100,5	93,9	88,2	100,5	12,3	

LINJA 6, TAIKINA 2, TULOSTAULUKKO

PVM	Mittaus NRO	Taikina	°C	kost.%	FE	Massa (g) renkaassa	Force1	Force2	Force3	Force keskiarvo	Force min	Force max	Force max- min	HUOM
30.4.2015	1	T2, L6	31,4	54,6	110	384,9	154,0	166,9	169,9	163,6	154,0	169,9	15,9	force 1:ssä tarinää
	2	T2, L6	31,2	54,8	100	385,3	145,1	153,3	159,7	152,7	145,1	159,7	14,6	
	3	T2, L6	30,4	54,6	100	387,7	153,6	154,0	165,2	157,6	153,6	165,2	11,6	
	4	T2, L6	29,7	54,3	105	381,7	147,9	182,7	186,3	172,3	147,9	186,3	38,4	
	5	T2, L6	29,2	54,6	115	377,7	171,5	155,9	162,8	163,4	155,9	171,5	15,6	
	6	T2, L6	28,7	54,3	100	380,3	145,0	161,8	172,6	159,8	145,0	172,6	27,6	(force 4 = 177,7)
	7	T2, L6	30,8	54,7	105	381,9	159,0	165,9	170,8	165,2	159,0	170,8	11,8	
8.5.2015	8	T2, L6	30,6	54,9	100	386,3	133,3	144,4	149,0	142,2	133,3	149,0	15,7	
	9	T2, L6	29,6	54,8	95	389,4	138,5	145,0	154,3	145,9	138,5	154,3	15,8	
	10	T2, L6	28,2	55,0	95	389,4	137,9	143,3	153,0	144,7	137,9	153,0	15,1	
12.5.2015	11	T2, L6	31,1	54,9	95	377,4	131,9	141,3	148,0	140,4	131,9	148,0	16,1	
	12	T2, L6	31,0	55,2	95	387,5	133,8	141,5	145,0	140,1	133,8	145,0	11,2	
	13	T2, L6	30,8	54,6	90	387,7	139,0	147,6	147,6	144,7	139,0	147,6	8,6	
15.5.2015	14	T2, L6	30,3	55,4	75	388,5	123,0	131,0	132,8	128,9	123,0	132,8	9,8	
21.5.2015	15	T2, L6	30,7	54,8	105	381,7	145,5	154,9	164,8	155,1	145,5	164,8	19,3	
	16	T2, L6	31,6	54,7	105	382,4	149,8	149,6	162,1	153,8	149,6	162,1	12,5	
25.5.2015	17	T2, L6	30,6	54,4	95	392,6	143,2	152,3	158,1	151,2	143,2	158,1	14,9	
	18	T2, L6	30,7	54,4	105	389,2	173,5	172,0	177,6	174,4	172,0	177,6	5,6	
27.5.2015	19	T2, L6	31,5	54,6	105	383,7	171,6	173,6	177,8	174,3	171,6	177,8	6,2	

LINJA 9, TAIKINA 3, TULOSTAULUKKO

PVM	Mittaus NRO	Taikina	°C	kost.%	FE	Massa (g) renkaassa	Force1	Force2	Force3	Force keskiarvo	Force min	Force max	Force max-min	HUOM
29.4.2015	1	T3, L9	30,3	54,7	100	388,9	89,2	85,8	86,3	87,1	85,8	89,2	3,4	
	2	T3, L9	30,2	54,9	85	392,0	77,3	77,1	80,0	78,1	77,1	80,0	2,9	
	3	T3, L9	30,1	54,0	90	391,0	87,2	88,2	85,2	86,9	85,2	88,2	3,0	
8.5.2015	4	T3, L9	30,5	54,1	95	388,5	95,7	91,1	93,8	93,5	91,1	95,7	4,6	
	5	T3, L9	30,4	53,6	110	387,1	93,4	91,9	93,6	93,0	91,9	93,6	1,7	
	6	T3, L9	30,3	53,8	105	391,0	91,7	93,9	95,3	93,6	91,7	95,3	3,6	
	7	T3, L9	30,4	-	100	383,7	92,3	96,8	94,2	94,4	92,3	96,8	4,5	
12.5.2015	8	T3, L9	30,6	53,6	100	389,3	89,8	92,6	92,4	91,6	89,8	92,6	2,8	
	9	T3, L9	30,7	53,4	105	387,6	105,9	103,2	103,2	104,1	103,2	105,9	2,7	
	10	T3, L9	30,7	54,0	100	388,9	90,5	96,9	95,1	94,2	90,5	96,9	6,4	
15.5.2015	11	T3, L9	30,6	-	80	388,0	82,2	82,2	81,4	81,9	81,4	82,2	0,8	
21.5.2015	12	T3, L9	31,0	54,3	100	388,6	80,7	83,1	88,0	83,9	80,7	88,0	7,3	
	13	T3, L9	31,0	54,0	105	388,7	86,7	88,6	88,6	88,0	86,7	88,6	1,9	
	14	T3, L9	31,0	54,3	95	389,5	85,5	85,1	89,8	86,8	85,1	89,8	4,7	
25.5.2015	15	T3, L9	31,0	54,1	90	384,5	77,0	71,6	80,6	78,8	71,6	80,6	9,0	2. force t.pata täryytti
27.5.2015	16	T3, L9	31,5	53,9	100	386,9	88,1	90,9	89,2	88,7	88,1	90,9	2,8	

TAIKINOIDEN KORRELAATIOMATRIISIT

T1, 4L	°C	kost.%	FE	massa (g)	Force ka
°C	1	-0,182	-0,577	0,048	-0,289
kost.%	-0,182	1	-0,206	-0,113	-0,457
FE	-0,577	-0,206	1	-0,484	0,472
Massa (g)	0,048	-0,113	-0,484	1	0,058
Force ka	-0,289	-0,457	0,472	0,058	1

T1, 7L	°C	kost.%	FE	massa (g)	Force ka
°C	1	-0,665	0,318	-0,128	0,481
kost.%	-0,665	1	-0,241	0,268	-0,256
FE	0,318	-0,241	1	-0,216	0,779
Massa (g)	-0,128	0,268	-0,216	1	-0,107
Force ka	0,481	-0,256	0,779	-0,107	1

T2, 6L	°C	kost.%	FE	massa (g)	Force ka
°C	1	0,093	0,076	-0,012	0,058
kost.%	0,093	1	-0,596	0,178	-0,784
FE	0,076	-0,596	1	-0,503	0,791
Massa (g)	-0,012	0,178	-0,503	1	-0,293
Force ka	0,058	-0,784	0,791	-0,293	1

T3, 9L	°C	kost.%	FE	massa (g)	Force ka
°C	1	-0,167	0,139	-0,388	-0,092
kost.%	-0,167	1	-0,636	0,356	-0,743
FE	0,139	-0,636	1	-0,162	0,695
Massa (g)	-0,388	0,356	-0,162	1	-0,146
Force ka	-0,092	-0,743	0,695	-0,146	1

TAIKINOIDEN VÄLIESTIMAATTITÄULUKOT

T1, 4L		Piste-estimaatti		Luottamusväli	Väliestimaatti 95%	
Otoskoko n	FE	Force	Otoksen kh	0,05	Alaraja	Yläraja
3	85	88,5	1,5	3,76	84,77	92,30
15	90	89,5	7,4	4,12	85,42	93,66
9	95	90,6	5,8	4,43	86,19	95,06
12	100	92,3	8,9	5,66	86,61	97,94
6	105	103,0	4,4	4,61	98,36	107,58
3	110	94,8	4,8	11,88	82,92	106,68

T1, 7L		Piste-estimaatti		Luottamusväli	Väliestimaatti 95%	
Otoskoko n	FE	Force	Otoksen kh	0,05	Alaraja	Yläraja
3	85	73,9	1,7	4,149	69,8	78,0
12	90	85,7	4,9	3,131	82,5	88,8
15	95	90,2	7,0	3,859	86,3	94,0
9	100	95,0	4,1	3,151	91,8	98,2
9	105	100,9	9,4	7,227	93,7	108,1

T2, 6L		Piste-estimaatti		Luottamusväli	Väliestimaatti 95%	
Otoskoko n	FE	Force	Otoksen kh	0,05	Alaraja	Yläraja
3	75	128,9	5,2	13,0	116,0	141,9
3	90	144,7	5,0	12,3	132,4	157,1
15	95	144,5	7,6	4,2	140,3	148,7
12	100	153,1	10,7	6,8	146,3	159,9
18	105	165,9	12,5	6,2	159,7	172,0
3	110	163,6	8,4	21,0	142,6	184,6
3	115	163,4	7,8	19,4	144,0	182,8

T3, 9L		Piste-estimaatti		Luottamusväli	Väliestimaatti 95%	
Otoskoko n	FE	Force	Otoksen kh	0,05	Alaraja	Yläraja
3	80	81,9	0,5	1,15	80,8	83,1
3	85	78,1	1,6	4,0	74,1	82,2
6	90	81,6	6,5	6,8	74,8	88,4
6	95	90,2	4,3	4,5	85,7	94,7
18	100	90,1	4,4	2,2	87,9	92,3
9	105	96,0	8,9	6,9	89,2	102,9
3	110	93,0	0,9	2,3	90,7	95,3